

УДК 004

**П.Лобода, магістр гр. КН-24М,***Центральноукраїнський національний технічний університет*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ ІЄРАРХІЧНОГО ЗБЕРІГАННЯ ДАНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ TIERED STORAGE

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

### **ієрархічне зберігання даних, Tiered Storage**

**Постановка проблеми.** Програмне забезпечення, також відоме як багаторівневе сховище, було розроблено для розподілених серверних середовищ, щоб автоматизувати процес ідентифікації холодних наборів даних та автоматичної міграції їх з основного диска на менш дорогі оптичні та стрічкові пристрої зберігання даних. Повертаючись до ери мейнфреймів, HSM також мав автоматично обробляти запити на відкриття файлів щоразу, коли користувач натискав на файл-заглушку.

На жаль, ці ранні продукти HSM мали низку недоліків. Ці недоліки були настільки серйозними, що HSM стало «поганим словом» серед ІТ-фахівців. Багато з цих ІТ-фахівців вважали, що єдиний життєздатний спосіб управління сховищем – це просто продовжувати додавати більше потужностей до основного рівня.

Оскільки ландшафт центрів обробки даних змінився, організації отримали широкий спектр варіантів зберігання даних, флеш-пам'ять замінила високопродуктивні фізичні дискові накопичувачі як сховища першого рівня. Високопродуктивні та звичайні фізичні жорсткі диски тепер функціонують як вторинні та третинні рівні зберігання. Доступні хмарні сховища файлів та об'єктів для обробки великих обсягів довгострокових вимог до зберігання. Всі ці опції необхідні для боротьби з неструктурованим напливом даних (а також розростанням даних та високими витратами на зберігання даних), з якими стикається більшість організацій. Однак основна проблема залишається: як автоматично виявляти «теплі» та «холодні» набори даних, а потім безперервно переносити їх на найефективніший рівень зберігання, одночасно керуючи всім життєвим циклом файлу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** При аналізі останніх досліджень і публікацій [1-30] було виявлено певні прогалини у забезпеченні системи ієрархічного зберігання даних з використанням технології Tiered Storage.

**Мета й завдання дослідження.** Метою роботи є дослідження та принципи побудови системи ієрархічного зберігання даних з використанням технології Tiered Storage.

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

– Огляд існуючих систем ієрархічного зберігання даних з використанням технології Tiered Storage.

– Дослідження системи ієрархічного зберігання даних з використанням технології Tiered Storage.

– Програмна реалізація системи ієрархічного зберігання даних з використанням технології Tiered Storage.

*Об'єктом дослідження* є процес ієрархічного зберігання даних з використанням технології Tiered Storage.

*Предметом дослідження* є методи ієрархічного зберігання даних з використанням технології Tiered Storage.

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

**Виклад основного матеріалу.** Існують проблеми, пов'язані з обробкою, переміщенням, зберіганням або обробкою великих обсягів чого завгодно, і в абсолютно не пов'язаних між собою сферах ці проблеми можуть виглядати дуже схожими. Розглянемо поштову службу: для доставки листів і посилок туди, куди їм місце, потрібна складна мережа літаків, кораблів, напівпричепів, машин, транспортних засобів доставки та людей. І на кожному етапі існують величезні ризики, пов'язані з ефективністю, вартістю, затримками та помилками.

Наприклад, уявіть собі використання напівпричепа для доставки пошти від дверей до дверей і скільки місця буде витрачено у вантажівці. Або уявіть собі парк невеликих електричних поштових транспортних засобів, які перевозять пошту з Аляски до Флориди, замість використання літака.

Це спрощені приклади, але вони допомагають пояснити, чому існує ієрархічне управління сховищами (HSM). Організації з великими обсягами даних постійно стикаються з проблемами ефективності, і багато зусиль витрачається на планування того, як зберігати, переміщувати та обробляти всю цю інформацію. Ієрархічне управління сховищами (HSM) – це історичний метод, який гарантує, що організації по суті не використовуватимуть напівпричепа як засоби доставки своїх цифрових даних.

У даному розділі ми розглянемо HSM, проблеми, які він прагне вирішити, та деякі сучасні альтернативи йому.

### **Що таке ієрархічне управління сховищами?**

Ієрархічне управління сховищем, або HSM, – це процес управління цифровими даними, метою якого є максимально економічне використання носіїв інформації, мінімізуючи при цьому неефективність використання даних.

Два ключові факти лежать в основі HSM: по-перше, різні методи зберігання цифрових носіїв мають різні характеристики. По-друге, не всі дані обробляються однаково. Щодо першого пункту, найбільш очевидною відмінністю між різними цифровими носіями інформації є вартість. Найшвидші, найдоступніші та найуніверсальніші носії інформації, як правило, є найдорожчими. А що стосується другого пункту, деякі дані використовуються щодня, тоді як деякі дані використовуються набагато рідше.

Прибуток багатьох компаній залежить від швидкого доступу до найважливіших даних. Але було б надзвичайно неефективно платити стільки ж за зберігання та доступ до даних, які вони використовують лише частку часу, з тим самим рівнем швидкості та доступності.

Різні організації впроваджують HSM по-різному – єдиного зводу правил для використання HSM не існує. Але щоразу, коли організація розділяє своє сховище даних щонайменше на два рівні, HSM – це процес встановлення правил щодо того, що де зберігається та як це переміщується.

### **Переваги ієрархічного управління сховищами**

Організації можуть побачити низку переваг від впровадження ієрархічного управління сховищами. Економія коштів є найбільш очевидною перевагою HSM: переміщуючи менш термінові дані на дешевші носії, компанії можуть пожертвувати доступністю заради вартості. Продуктивність також загалом покращується завдяки

принципам HSM. Коли програми, яким потрібен доступ до даних, не витрачають час на перегляд старих, застарілих або нерелевантних даних, вони можуть забезпечити кращі результати швидше.

І хоча HSM може здатися складним, чіткі правила визначення місця розташування різних категорій даних та їх автоматичне застосування призводять до спрощеного управління даними. HSM також оптимізує використання сховища, оскільки автоматично переносить дані на відповідний рівень сховища на основі правил, встановлених ІТ-фахівцями.

#### **Як працює ієрархічне управління сховищами?**

HSM може складатися з багатьох шарів носія інформації, але його суть полягає в тому, що на одному кінці знаходиться високопродуктивний рівень, а на іншому – повільніший і дешевший рівень. Високопродуктивний рівень традиційно складався з пам'яті класу сховища, твердотільних накопичувачів (SSD) корпоративного класу та високопродуктивних жорстких дисків. На нижчому рівні знаходяться такі пристрої, як оптичні диски та навіть стрічкові накопичувачі.

Фактичне впровадження політик HSM є досить складним, але HSM по суті працює, визначаючи частоту доступу до файлу, і з плином часу система автоматично переміщує рідко використовувані файли до повільнішого та дешевшого сховища. ІТ-команди пишуть правила для параметрів, які визначають, коли дані переміщуються, які дані виключені з цих правил та інші уточнення. Але HSM, як правило, є автоматизованим процесом, який оптимізує доступ до даних та витрати на їх зберігання.

#### **Які рівні HSM?**

Ключ до розуміння HSM та використання носіїв інформації, таких як стрічкові накопичувачі, полягає в тому, що колись різниця між вартістю, продуктивністю та швидкістю була надзвичайною. Хоча ці розриви зменшилися і постійно зменшуються, був час, коли різниця у вартості між оптичними дисками та твердотільними накопичувачами була достатньо суттєвою, щоб виправдати складні методи сортування даних, щоб ви ніколи не витрачали гроші даремно.

Рівень HSM з найменшим обсягом та найвищою продуктивністю зазвичай називається Рівнем 0. Це критично важливі дані, які не можуть дозволити собі затримок або перебоїв у роботі. Рівень 1 часто називають «гарячими даними», даними, які постійно використовуються для щоденних бізнес-операцій, а терміновість яких може бути збалансована витратами на зберігання. Рівень 2 – це «теплі дані», де вартісним міркуванням надається значний пріоритет, і куди поміщаються дані, до яких не часто звертаються. Нарешті, Рівень 3 зазвичай стосується «холодних даних», або даних, до яких рідко звертаються або оновлюють дані, якщо взагалі звертаються.

#### **Альтернативи рівням HSM, що базуються на повністю флеш-пам'яті**

В ідеальному світі компанія могла б мати швидке, високодоступне сховище на всіх рівнях, з тонкими розмежуваннями між ними. Протягом десятиліть мрією було повністю флеш-сховище даних на рівні підприємства. Але донедавна це було просто неможливо. Однак за останні кілька десятиліть вартість повністю флеш-сховища на рівні підприємства не просто можлива, це робиться регулярно.

Pure Storage є помітним лідером у сфері повністю флеш-сховищ для підприємств і ще у 2012 році розробила рішення для флеш-сховищ, які могли задовольнити потреби корпоративної мережі рівня Tier 0. Коли FlashArray//C™ був випущений, Pure Storage міг гарантувати стабільну затримку в одну мілісекунду для критично важливих бізнес-навантажень і даних корпоративних мереж, з доступністю 99,9999% та оновленнями без переривання роботи.

Це саме по собі було новаторським, а потім FlashArray//X™ та FlashArray//XL™ дозволили запускати на флеш-пам'яті все: від величезних баз даних до хмарних програм. Навіть з цими досягненнями все ще вважалося, що рівні 2 та 3 ніколи не потраплять до флеш-пам'яті через вартість.

Але у 2023 році Pure Storage випустила FlashArray//E™ та FlashBlade//E™, які кидають виклик низькоякісним обертовим дискам та стрічкам. Розроблений для довготривалого зберігання, FlashArray//E забезпечує ємність зберігання необроблених, уніфікованих файлових та блочних даних від 1 ПБ до 4 ПБ. FlashBlade//E може заощадити компаніям купу грошей під час зберігання неструктурованих та об'єктних робочих навантажень.

Pure Storage показує приклад повністю флеш-альтернатив рівням HSM для організацій будь-якого розміру. Хоча ми не скасовуємо HSM як такий, ми радикально змінюємо межі, що розділяють рівні HSM.

Ієрархічне управління сховищами виникло як необхідна відповідь на величезну різницю у вартості, що існувала між найшвидшими, найдорожчими та найповільнішими, але найдоступнішими формами зберігання даних. Технологічні обмеження призвели до появи цілої сфери кар'єри, присвяченої автоматичній категоризації, переміщенню та оптимізації рішень для зберігання даних.

HSM все ще є важливим процесом економії коштів, але повністю флеш-рішення корпоративного масштабу, такі як ті, що пропонуються Pure Storage, швидко позбавляються чітких розмежувань між ними, водночас забезпечуючи величезні обсяги швидких даних за значно меншу ціну, ніж раніше.

Організація ієрархічних даних є унікальною проблемою в галузі управління базами даних СУБД. Ієрархічні структури поширені в багатьох галузях, від організації в діаграмах до систем зберігання даних та категорій продуктів.

Для ефективного зберігання та запитання ієрархічних даних у реляційних базах даних RDBMS необхідний ретельний розгляд схеми бази даних та обраної моделі зберігання.

У цій статті ми розглянемо доступні варіанти зберігання ієрархічних даних у реляційній базі даних, досліджуючи їхні переваги, недоліки та варіанти використання. Основні варіанти:

1. Модель списку суміжності.
2. Перерахування шляхів.
3. Модель вкладеного набору.
4. Модель матеріалізованого шляху.

Перш ніж заглибитися, давайте розберемося з цими концепціями:

### **Що таке реляційна база даних?**

Реляційна база даних – це тип бази даних, яка впорядковує дані в рядки та стовпці, що разом утворюють таблицю, де точки даних пов'язані одна з одною (РСБД).

SQL-запити агрегують дані, допомагаючи фірмам аналізувати ефективність бізнесу, оптимізувати процеси та генерувати аналітичні висновки. Вони впорядковують дані, пов'язуючи таблиці за допомогою первинних та зовнішніх ключів, виявляючи взаємозв'язки.

### **Зберігання ієрархічних даних у базі даних**

Керування ієрархічними даними в реляційних базах даних є складним завданням через невідповідність між ієрархічними структурами та табличною природою реляційних баз даних. Стратегії пояснюються нижче:

#### **1. Модель списку суміжності**

Модель списку суміжності – це простий та інтуїтивно зрозумілий спосіб представлення ієрархічних даних у реляційних базах даних. У цій моделі кожен запис містить посилання на батьківський запис, утворюючи деревоподібну структуру. Наприклад, таблиця співробітників може містити поле, що посилається на ідентифікатор менеджера для кожного співробітника.

Переваги:

- Легко зрозуміти та застосувати на практиці.
- Гнучкість є відображенням асиметричних ієрархій.

Недоліки:

- Можуть виникати неефективні запити та перетин ієрархій, особливо для глибоко вкладених структур.
- Часто потрібні рекурсивні запити, які можуть бути складними та ресурсомісткими.



Рисунок 1 – Структурна схема системи

## 2. Перерахування шляхів

У реляційній базі даних перерахування шляхів – це метод зберігання ієрархічних даних, в якому записується повний шлях кожного вузла від кореневого вузла. За допомогою заданого шляху цей метод спрощує отримання батьківських або дочірніх вузлів, але це може призвести до уповільнення запитів, особливо для великих наборів даних.

Перерахування шляхів спрощує отримання ієрархічних даних, але може збільшити тривалість пошуку, особливо для структур з кількома рівнями вкладеності. Крім того, може знадобитися оновити кілька рядків для оновлення ієрархії, що може вплинути на продуктивність. Через це важливо ретельно зважити всі компроміси під час вибору формату зберігання реляційної бази даних для ієрархічних даних.

Переваги:

- Простий у впровадженні.
- Просте отримання батьківських або дочірніх вузлів за певним шляхом.

Недоліки:

- Отримання та перетин ієрархій може бути повільним та ресурсомістким, особливо для великих наборів даних.

– Обмежена підтримка таких операцій, як запити до піддерев або переупорядкування вузлів.

### **3. Модель вкладених множин**

У моделі вкладених множин два числа – ліве значення та праве значення – представляють кожен вузол у дереві для зберігання ієрархічних даних у реляційній базі даних. Спосіб розподілу цих значень дозволяє ефективно запитувати ієрархічну структуру, отримувати піддерева та виконувати такі операції, як підрахунок нащадків.

Переваги:

- Ефективний для пошуку піддерев та операцій, таких як підрахунок нащадків.
- Добре підходить для ієрархій з частими операціями читання.

Недоліки:

- Складно обслуговувати, особливо під час вставки або видалення вузлів.
- Запити, що включають оновлення ієрархії, можуть бути складними та обчислювально дорогими.

### **Модель матеріалізованого шляху**

Подібно до перерахування шляхів, матеріалізована модель шляху зберігає повний шлях кожного вузла, а також додаткові оптимізації, такі як зберігання глибини кожного вузла.

Переваги:

- Спрощує запити та перехід через ієрархії.
- Ефективно підтримує такі операції, як пошук піддерева та запити на основі шляхів.

Недоліки:

- Може знадобитися додаткове місце для зберігання.
- Оновлення ієрархії можуть бути складними, особливо коли вузли переміщуються або реорганізуються.

На завершення, вибір відповідної моделі зберігання ієрархічних даних у реляційній базі даних залежить від різних факторів, включаючи розмір і складність ієрархії, частоту оновлень і типи запитів, які будуть виконуватися. Хоча кожна модель зберігання має свої переваги та недоліки, розуміння нюансів кожного підходу є вирішальним для розробки ефективних і масштабованих схем баз даних, які ефективно керують ієрархічними даними.

**Висновки.** У статті наведені теоретичне узагальнення й рішення наукового завдання дослідження методів ієрархічного зберігання даних з використанням технології Tiered Storage. Рішення даного завдання полягало у вирішенні наступних задач:

– Був проведений огляд існуючих систем ієрархічного зберігання даних з використанням технології Tiered Storage.

– Досліджена система ієрархічного зберігання даних з використанням технології Tiered Storage.

– На основі отриманих результатів досліджень створена програмна реалізація системи ієрархічного зберігання даних з використанням технології Tiered Storage.

Розроблені під час виконання випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти алгоритми дозволяють успішно вирішувати завдання ієрархічного зберігання даних з використанням технології Tiered Storage. 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. Смірнов, О.А., Константинова, Л.В., Конопільська-Слободенюк, О.К., Козірова, Н.В., Якименко, Н.М., Доренський, О.П., Буравченко, К.О. «Дослідження інструментів штучного інтелекту для роботи з базами даних та аналізу даних». Кібербезпека: освіта, наука, техніка. 2025. №3(27), С. 429–448.)

2. Smirnov O., Fedorov E., Neskorodieva A., Neskorodieva T. «Intellectual Classification method of Gymnastic Elements Based on Combinations of Descriptive and Generative Approache». CEUR Workshop Proceedings Volume 3664, 2024, Pages 11-23.
3. Вінтенко, Б., Миронець, І., Смірнов, О., Коваленко, А., Коноплицька-Слободенюк, О., Смірнова, Т., Константинова, Л. «Дослідження застосування систем підтримки оперативного персоналу об'єкту критичної інфраструктури при керуванні енергоблоком АЕС з реактором типу ВВЕР-1000». Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка», 2024. № 2(26), С. 6-26.
4. Вінтенко, Б., Миронець, І., Смірнов, О., Кравчук, О., Козірова, Н., Савеленко, Г., Коваленко, А. «Дослідження вимог та аналіз кібербезпеки програмного забезпечення інформаційно-керуючих систем АЕС, важливих для безпеки». Кібербезпека: освіта, наука, техніка. 2024. №3(23), С. 111-131.
5. Kuznetsov O., Ilchenko O., Kryvinska N., Buravchenko K., Smirnov O., Savchenko Iu. «An Empirical Assessment of Leading Blockchain Financial Services». 2023 IEEE 1st Ukrainian Distributed Ledger Technology Forum (UADLTF), Kyiv, Ukraine, 2023, pp. 1-6,
6. 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.
7. Malyukov V., Bebesko B., Lakhno V., Smirnov O., Malyukova I., Mohylnyi H. «Managing the Purchase-Sale Process of Digital Currencies Under Fuzzy Conditions». Lecture Notes in Networks and Systems, 2023, 729 LNNS, pp. 104–112.
8. 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.
9. Smirnov, O., Sydorenko, V., Aleksander, M., Zhyharevych, O., Yenchov, S. «Simulation of the cloud IoT-based monitoring system for critical infrastructures». CEUR Workshop Proceedings, Volume 3530, 2023, pp. 256-265.
10. 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.
11. Вінтенко Б.Ю., Смірнов О.А., Коваленко А.С., Смірнов С.А., Буравченко К.О. «Дослідження вимог міжнародних стандартів IEC60880 та IEC62138 з розробки програмного забезпечення інформаційно-керуючих систем АЕС, важливих для безпеки». Системи управління, навігації та зв'язку, 2023, вип. 3(73), С. 155-166.
12. Вінтенко, Б., Миронець, І., Смірнов, О., Кравчук, О., Козірова, Н., Савеленко, Г., Коваленко, А. «Дослідження вимог та аналіз кібербезпеки програмного забезпечення інформаційно-керуючих систем АЕС, важливих для безпеки». Кібербезпека: освіта, наука, техніка. 2024. №3(23), С. 111-131.
13. Вінтенко Б.Ю., Смірнов О.А., Коваленко О.В., Смірнов С.А., Коваленко А.С. «Дослідження нормативних документів та галузевих стандартів розробки програмного забезпечення комп'ютерних систем управління АЕС, важливих для безпеки». Системи управління, навігації та зв'язку, 2023, вип. 2(72), С. 170-178.
14. 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.
15. Вінтенко Б.Ю., Смірнов О.А., Коваленко О.В., Смірнов С.А. «Дослідження нормативної документації та стандартів розробки програмного забезпечення комп'ютерних систем управління АЕС, важливих для безпеки». VI міжнародна науково-практична конференція «Інформаційна безпека та комп'ютерні технології», м. Кропивницький. 20-21 квітня 2023 р. – Кропивницький: ЦНТУ. – 2023. – С. 35-36.
16. Smirnov, O., Karapetyan, A., Fedorov, E., «Creating Neural Network and Single Solution Human-Based Metaheuristic Methods of Solving the Traveling Salesman Problem». CEUR Workshop Proceedings, Volume 3312, 2022, pp. 47-58.
17. Smirnov O., Kuznetsov A., Kryvinska N., Kiian A., Kuznetsova K. «Full Non-Binary Constant-Weight Codes». SN Computer Science, Vol 2, 337, 2021. <https://doi.org/10.1007/s42979-021-00739-w>.
18. Smirnov O., Kovalenko O., Kovalenko A., Kavun S. «Quantitative Risk Assessment Method Development in the Context of the SDLC-model». 2021 IEEE 8th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), 2021, pp. 203-208, doi: 10.1109/PICST54195.2021.9772143
19. 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.
20. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Potii, O., Poluyanenko, N., Stelnyk, I., Mialkovsky, D. «Combining and filtering functions in the framework of nonlinear-feedback shift register». International Journal of Computing; 2020, Volume 19, Issue 2 – Research Institute for Intelligent Computer Systems – 2020. – P. 247-256.
21. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Kuznetsova T. «Non-binary constant weight coding technique». CEUR Workshop Proceedings. Volume 2740, 2020, Pages 102-114.
22. 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.
23. Smirnov, O., Shekhanin, K., Kuznetsov, A., Krasnobayev, V. «Detecting Hidden Information in FAT». International Journal of Computer Network and Information Security (IJCNIS). Vol. 12, No. 3, 2020. PP.33-43.
  24. 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.
  25. 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.
  26. 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.
  27. 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.
  28. 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.
  29. Kuznetsova, T., «Code-Based Schemes for Post-Quantum Digital Signatures», 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS 2019; Metz; France; 18-21 September 2019. P. 707-712.
  30. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Stefanovych, O., Gorbenko, Y., Krasnobayev, V., Kuznetsova K. «Information Hiding Using 3D-Printing Technology», 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS 2019; Metz; France; 18-21 September 2019. P.701-706.
  31. 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.
  32. Смірнов, О.А., Усік П.С., Полігенько О.О., Одарченко Р.С., Терещенко Л.Ю. «Інформаційна технологія та програмне забезпечення для підвищення ефективності планування підсистеми базових станцій стільникового зв'язку». Проблеми телекомунікацій. № 1(26). С. 83-96. 2020.