

УДК 004

В.Огер, магістр гр. КІ-22М-1

Центральноукраїнський національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ СТИСНЕННЯ ТА РЕЗЕРВНОГО ДУБЛЮВАННЯ ДАНИХ

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

Постановка проблеми. Система стиснення та резервного дублювання даних, яка розроблена у даній роботі, забезпечує механізми стиснення та дедуплікації даних. Стиснення даних і дедуплікація дозволяють зменшити трафік, що надходить через мережу та дисковий простір, необхідний для зберігання файлів резервних копій і файлів реплік віртуальних машин.

Стиснення даних зменшує розмір створених файлів, але впливає на тривалість процедури резервного копіювання або реплікації. Система дозволяє вибрати один із таких рівнів стиснення:

– Не рекомендується використовувати рівень стиснення, якщо ви плануєте зберігати файли резервних копій і файли-репліки віртуальної машини на пристроях зберігання, що підтримують апаратне стиснення та дедуплікацію. Вимкнене стиснення може знизити продуктивність через збільшення обсягу даних для передачі.

– Рівень стиснення, сприятливий для дедуплікації, рекомендований для деяких пристроїв зберігання даних із дедуплікацією та під час використання зовнішніх прискорювачів WAN.

– Оптимальний рівень стиснення – це рекомендований рівень стиснення. Він забезпечує найкраще співвідношення між стисненням і продуктивністю, найменше використання ЦП резервного проксі та найшвидше відновлення.

– Високий рівень стиснення забезпечує до 60% додаткового скорочення даних порівняно з оптимальним рівнем стиснення за рахунок удвічі більшого використання ЦП і удвічі повільнішого відновлення.

– Екстремальний рівень стиснення забезпечує до 33% додаткового скорочення обсягу даних порівняно з високим рівнем стиснення за рахунок 5-кратного використання ЦП.

– Для завдання резервного копіювання. Авто – рекомендований рівень стиснення для завдань резервного копіювання. Виберіть цей рівень, щоб використовувати параметри стиснення скопійованих файлів резервної копії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При аналізі останніх досліджень і публікацій [1-10] було виявлено певні прогалини у забезпеченні системи стиснення та резервного дублювання даних.

Мета й завдання дослідження. Метою роботи є дослідження та програмна реалізація системи стиснення та резервного дублювання даних.

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

- Огляд існуючих систем стиснення та резервного дублювання даних.
- Дослідження системи стиснення та резервного дублювання даних.
- Програмна реалізація системи стиснення та резервного дублювання даних.

Об'єктом дослідження є процес стиснення та резервного дублювання даних.

Предметом дослідження є методи стиснення та резервного дублювання даних.

Методи дослідження базуються на методах теорії надійності, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення.

Виклад основного матеріалу

Зміна параметрів стиснення даних

Ви можете змінити параметри стиснення даних для наявних завдань. Після зміни налаштувань вам не потрібно буде створювати нові повні резервні копії, щоб використовувати нові налаштування. Система автоматично застосує новий рівень стиснення до щойно створених файлів резервної копії після того, як ви збережете налаштування. Це не вплине на створені раніше файли резервних копій.

Однак, якщо ви використовуєте метод зворотного інкрементного резервного копіювання, щойно створені файли резервної копії міститимуть суміш блоків даних, стиснутих на різних рівнях. Наприклад, у вас є завдання резервного копіювання, яке використовує метод зворотного інкрементного резервного копіювання та оптимальний рівень стиснення. Після кількох сеансів роботи ви змінюєте рівень стиснення на Високий. У зворотних ланцюгах інкрементного резервного копіювання файл повної резервної копії перебудовується з кожним сеансом завдання, щоб включити нові блоки даних. У результаті файл повної резервної копії міститиме суміш блоків даних: блоки даних, стиснуті на оптимальному рівні, і блоки даних, стиснуті на високому рівні. Така ж поведінка стосується синтетичних повних резервних копій: синтетичні повні резервні копії, створені після зміни рівня стиснення, міститимуть суміш блоків даних, стиснених на різних рівнях.

Якщо ви хочете, щоб новостворений файл резервної копії містив блоки даних, стиснуті на одному рівні, ви можете створити активну повну резервну копію. Система отримає дані для всього образу віртуальної машини з робочої інфраструктури та стисне його на новому рівні стиснення. Усі наступні файли резервних копій у ланцюжку резервних копій також використовуватимуть новий рівень стиснення.

Дедуплікація

Дедуплікація даних зменшує розмір файлів. Якщо ввімкнено дедуплікацію даних, Система не зберігає в отриманому файлі ідентичні блоки даних і простір, які були попередньо виділені, але не використані.

Ми рекомендуємо ввімкнути дедуплікацію даних, якщо ваші завдання резервного копіювання містять кілька віртуальних машин із великою кількістю вільного місця на логічних дисках або віртуальних машин із подібними блоками даних – наприклад, віртуальні машини, створені з одного шаблону. Однак зауважте, що дедуплікація даних може знизити продуктивність роботи.

Система використовує Data Movers для дедуплікації даних віртуальної машини:

- Data Mover на стороні джерела дедуплікує дані віртуальної машини на рівні дисків віртуальної машини. Перш ніж Data Mover на стороні джерела почне обробку диска віртуальної машини, він отримує дайджести для попередньої точки відновлення в ланцюжку резервного копіювання від Data Mover на цільовій стороні. Data Mover на стороні джерела об'єднує цю інформацію з інформацією СВТ з гіпервізора та фільтрує дані диска віртуальної машини на її основі. Якщо певний блок даних існує в попередній точці відновлення цієї віртуальної машини, Data Mover на стороні джерела не транспортує цей блок даних до цілі.

Крім того, у випадку тонких дисків Data Mover на стороні джерела пропускає нерозподілений простір.

– Data Mover на цільовій стороні дедуплікує дані віртуальної машини на рівні файлу резервної копії. Він обробляє дані для всіх дисків віртуальних машин усіх віртуальних машин у завданні. Data Mover на цільовій стороні використовує дайджести для виявлення ідентичних блоків даних у транспортованих даних і зберігає лише унікальні блоки даних у файлі резервної копії.

Ви можете змінити налаштування дедуплікації даних для наявних завдань. Після зміни налаштувань вам не потрібно буде створювати нові повні резервні копії, щоб увімкнути або вимкнути дедуплікацію. Система автоматично застосує зміни до щойно створених файлів резервної копії після того, як ви збережете налаштування. Це не вплине на створені раніше файли резервних копій.

Оптимізація зберігання

Щоб оптимізувати роботу та використання сховища, Система дозволяє вибрати мінімальний розмір блоку даних для обробки віртуальних машин. Оптимальний розмір блоку даних залежить від типу сховища, яке ви вибрали як цільове, і розміру файлів.

Вибираючи розмір блоку даних, враховуйте такі аспекти:

– Під час читання образу віртуальної машини Система «розбиває» образ віртуальної машини на блоки вибраного розміру. Чим більше блоків даних, тим більше часу потрібно для обробки образу віртуальної машини.

– [Для реплікації та реплікації Cloud Director] Система записує інформацію про кожен блок даних у метадані репліки віртуальної машини, які зберігаються в сховищі резервних копій. Чим більше блоків даних, тим більше метаданих записується в резервне сховище.

– [Для ввімкненого відстеження змінених блоків] Під час виконання додаткових завдань Система використовує СВТ для визначення змінених блоків даних у віртуальній машині. Чим більший розмір знайденого зміненого блоку даних, тим більший обсяг даних буде передано на цільовий сайт.

Неправильно вибраний розмір блоку даних може знизити продуктивність. Наприклад, коли ви дедуплікуєте великий файл резервної копії на невеликі блоки даних, Система створює дуже велику таблицю метаданих дедуплікації, яка потенційно може перерости пам'ять і ресурси ЦП вашого сховища резервних копій. Для великих резервних файлів краще використовувати великі блоки даних.

Система пропонує кілька варіантів оптимізації сховища з різними розмірами блоків. Наступна таблиця допоможе вам вибрати оптимальний варіант відповідно до розміру файлів резервної копії та типу зберігання.

Таблиця 1 – Оптимальний варіант відповідно до розміру файлів резервної копії та типу зберігання

Оптимізація зберігання	Опис
4 МБ (колишня локальна ціль (великі блоки))	Рекомендовано для файлів, розмір яких перевищує 16 ТБ. Цей параметр забезпечує найнижчий коефіцієнт дедуплікації та найбільший розмір додаткових файлів.
1 МБ (попередня локальна ціль)	Рекомендується для резервного копіювання та реплікації в SAN, DAS або локальне сховище. Цей параметр забезпечує найшвидше виконання завдання, але зменшує коефіцієнт дедуплікації, оскільки з більшими блоками даних менше ймовірності знайти ідентичні блоки.
512 КБ (попередня мета LAN)	Рекомендується для резервного копіювання та реплікації на NAS, а також для резервного копіювання та реплікації на місці.

	Цей параметр забезпечує кращий коефіцієнт дедуплікації та зменшує розмір файлу через зменшені розміри блоків даних.
256 КБ (колишня цільова мережа WAN)	Рекомендовано, якщо ви плануєте використовувати WAN для резервного копіювання та реплікації за межами сайту. Цей параметр забезпечує максимальний коефіцієнт дедуплікації та найменший розмір файлів, що дозволяє зменшити обсяг трафіку через WAN.

Зміна параметрів оптимізації зберігання

Ви можете змінити налаштування оптимізації зберігання для наявних завдань. Нові налаштування не вплинуть на раніше створені файли в ланцюжку. Вони будуть застосовані до нових файлів, створених після зміни параметрів.

Щоб Система застосувала нові налаштування, скористайтеся наведеними нижче інструкціями.

Завдання резервного копіювання

Щоб застосувати нові параметри оптимізації зберігання в завданнях резервного копіювання, ви повинні створити активну повну резервну копію після зміни параметрів оптимізації зберігання. Система використовуватиме новий розмір блоку для активного повного резервного копіювання та подальших файлів резервного копіювання в ланцюжку резервного копіювання.

Завдання резервного копіювання

Щоб змінити розмір блоку даних для завдань резервного копіювання, необхідно виконати такі дії:

- Змініть розмір блоку даних у параметрах початкового завдання резервного копіювання.
- Створіть активну повну резервну копію з початковим завданням резервного копіювання.
- Створіть активну повну резервну копію за допомогою завдання резервного копіювання.

Моделі вхідного потоку

Кодування являє собою лише частина процесу впакування. Як було показано, арифметичне кодування має мінімальну надмірність при заданому розподілі символів вхідного потоку. Але який алфавіт вибрати і яким відповідним розподілом скористатися? Відповіді на ці питання дає побудова моделі вхідного потоку, що представляє собою деякий спосіб визначення можливого розподілу ймовірностей появи кожного чергового символу в потоці. Кожного, оскільки статичні моделі (у які розподіл приймається незмінним), у більшості випадків, не дають максимальної якості стиску. Набагато більший інтерес представляють так звані адаптивні моделі, що враховують поточний контекст потоку. Такі моделі дозволяють будувати швидкі однопрохідні алгоритми стиску, не потребуючих апріорних знань про вхідний потік даних і які будують розподіл "на льоту". В окрему групу виділяють також клас "локально адаптивних" алгоритмів, що віддають при побудові розподілу перевага деяким особливим, наприклад, останнім символам, що надійшли.

Можливі різні підходи до цієї проблеми: найпростіший з них – збір статистики появи кожного символу незалежно від інших (моделювання джерелом Бернуллі, при якому ймовірність появи наступного символу не залежить від того, які символи зустрілися перед ним). Можливо, також і використання марковських моделей: збір статистики появи кожного символу в які виробляється з урахуванням деякої кількості попередніх символів, що з'являлися (у марковському джерелі першого порядку ймовірність появи символу залежить тільки від одного останнього символу, другого – від двох і т.д.). Марковські моделі можуть давати більше точну картину джерела, однак число станів у них більше, відповідно до більших буде обсяг збережених таблиць частот. Крім того, при використанні кодування

Хаффмена вони можуть навіть погіршити якість стиску, оскільки породжувані ними ймовірності звичайно гірше наближаються ступенями $1/2$.

Звичайно, для системи стиску інформації гарний алгоритм – першочерговий, але не єдине болюче питання. Кінцевому користувачеві, як правило, немає справи до принципів організації функціонування й внутрішньої структури використовуваних їм програм, аби тільки працювали якісно. Під якістю систем стиску прийнято розуміти кілька критеріїв, які визначаються застосуванням при її реалізації й конкретному використанні. Так більшість застосувань необоротного стиску лежить в області технології зберігання графічної інформації – картинки й відео, що, у свою чергу локалізує алгоритм у рамках одного файлу для одного стандарту й характеру вхідного потоку. Однак, на практиці, через економію місця на накопичувачах, виникає необхідність стиску будь-якого файлу (у тому числі й здійсненному модулі). Цю проблему вирішують пакувальники. І, нарешті, проблему стиску декількох файлів і навіть всіх файлів каталогів і дисків вирішують програми – архіватори. Помітимо, що в список можливих завдань архіваторів входить не тільки стиск/добування інформації файлів різних форматів, але й збереження дерева файлової системи, атрибутів файлів, їхніх імен, деякої інформації, що коментує, створення архівів, що саморозпаковуються, архівація зі збереженням кодів циклічного контролю помилок, для гарантії абсолютної відповідності витягнутих файлів вихідним файлам, шифровку даних архіву й архівація з паролем, забезпечення користувача зручним інтерфейсом і ін. Тому, архіватори є однією із самих складних систем програм. У цей час, до перерахованих вище завдань можна побажати наявності деяких необов'язкових, але зручних властивостей і можливостей. Це конфігуруємість пакета, наявність розвиненого віконного інтерфейсу, а не інтерфейсу командного рядка, налаштовуємість на певний тип інформації, збереження параметрів у файлі архіву, створення багатотомних і/або архівів, що самовитягають, і ін. Все це бажано мати при малій довжині файлу архіватора. Між програмами пакувальниками й архіваторами звичайно не є принципових розходжень, однак, пакувальники впаковують інформацію одного файлу в один файл, а архіватори утворюють один файл вихідного потоку, що, втім, може бути автоматично нарізаний на файли рівної довжини для запису на гнучкі диски. Окрему групу становлять програми пакувальники, що займаються стиском здійснених модулів і дисків. Також упакування даних за допомогою алгоритмів стиску використовують системи резервного копіювання, стиску пристроїв (логічних дисків MS-DOS), факс-модемні драйвери й утиліти й ін.

У даний момент на ринку програмних продуктів і серверах програмного забезпечення можна зустріти досить велике число архівуючих і стискаючих утиліт, більшість із яких доступні для некомерційного використання. Така доступність, насамперед, пов'язана з тим, що кожна, навіть комерційна, програма має потребу у великому ринку користувачів. А оскільки формати файлів архіваторів і пакувальників, що навіть використовують той самий алгоритм, не однакові, то такі програми мимоволі конкурують за ринок користувачів. Із цим також зв'язано й те, що підтримка більше популярних форматів файлових архівів починає включатися в інші утиліти й програми й використовувані формати стають стандартними форматами архівів (zip, arj, rar, ha, rak, cab і ін.). Стандартний формат має на увазі виняткову легкість при пошуку програми, необхідної для добування файлів зі стислого стану й підтримку їхніми іншими програмами.

Розробка структурної схеми

Структурно система стиснення та резервного дублювання даних складається з наступних блоків:

1. Блок збереження даних:

- Створюйте резервні копії зображень, відеозаписів, фільмів, музики, документів і інших файлів.
- Встановіть автоматичний запуск резервного копіювання тоді, коли вам потрібно, навіть якщо в цей час ви не використовуєте комп'ютер.

- Використовуйте будь-які пристрої зберігання інформації, включаючи носії USB, зовнішні жорсткі диски, пристрої NAS і хмарне сховище в Інтернет.
- Не відволікайтеся на створення резервних копій – все відбувається у фоновому режимі.

2. Блок відновлення файлів:

- Якщо ви ненавмисно видалили потрібний файл, можливо переглянути історію збережень і відновити його.
- Відкрийте історію створення резервних копій, скористайтесь попереднім переглядом і виберіть ту версію файлу, що хочете відновити.
- Можливо одержати доступ до ваших файлів у будь-якому місці й у будь-який час через веб-браузер або через мобільний додаток, або хмарне сховище в Інтернет.
- Відновлюйте окремі файли з образів у хмарне сховище в Інтернет.

3. Блок створення повного образу диска ПК:

- Створіть резервну копію диска цілком для наступного відновлення – збережете не тільки файли, але й точну конфігурацію ПК, включаючи операційну систему, додатки й налаштування.
- Збережіть повний образ диска в хмарне сховище в Інтернет.

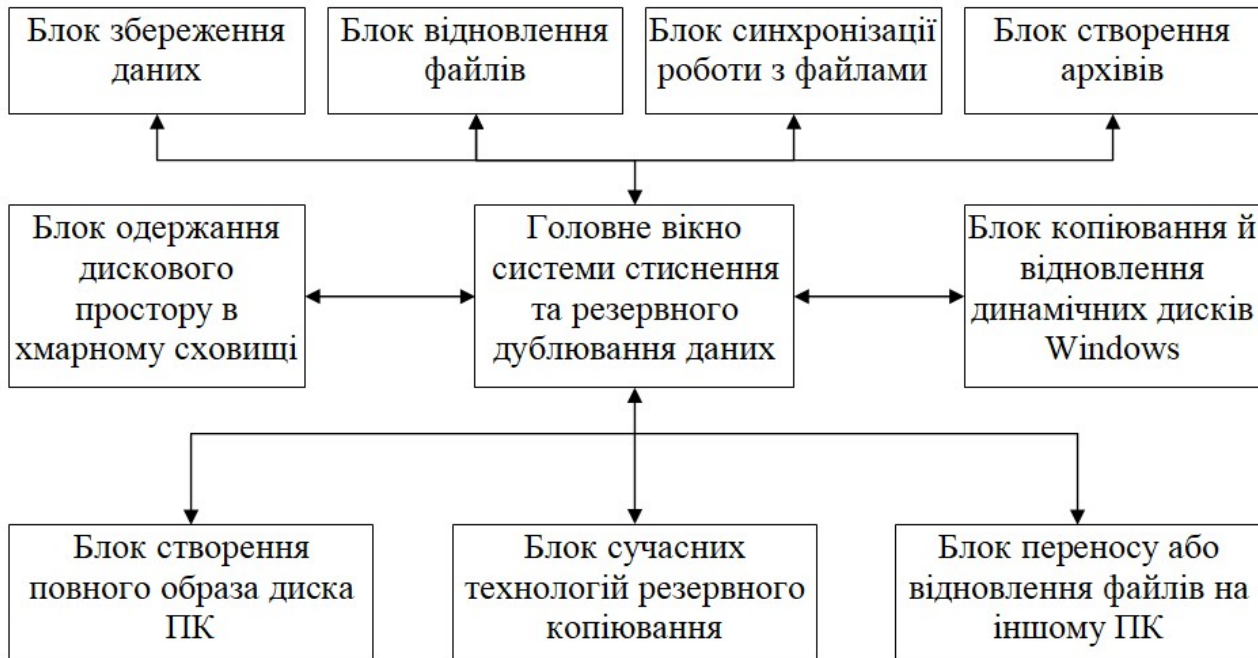


Рисунок 1 – Структурна схема системи

4. Блок одержання дискового простору в хмарному сховищі:

- Зберігайте копії найбільш важливих файлів у нашій надійному й безпечному центрі зберігання даних.
- Можливо одержати доступ до ваших файлів у будь-якому місці й у будь-який час.
- Використовуйте загальний доступ до файлів – відправляйте безпечно посилання на вміст, розміщений у хмарному сховищі.
- Можливо використовувати до п'яти пристроїв (настільні ПК, ноутбуки, планшети, смартфони й т.д.) для роботи із хмарним сховищем в Інтернет.
- Синхронізуйте роботу з файлами на всіх своїх пристроях.

5. Блок сучасних технологій резервного копіювання:

- Налаштуйте створення інкрементних і диференціальних резервних копій так, щоб зберігати тільки зміни з моменту останнього резервного копіювання – так ви заощадите місце на диску.

– Перевіряйте нове встановлене ПЗ й відвідайте будь-які веб-сайти без найменшого ризику – таку можливість дає технологія Try&Decide, що дозволяє вибирати, які зміни ви хочете зберегти на вашім комп'ютері.

– Потужний механізм шифрування AES-256, що відповідає міжнародним стандартам, забезпечує цілісність і недоторканність ваших даних.

6. Блок синхронізації роботи з файлами:

– Обрані файли автоматично додаються на всі ваші ПК і мобільні пристрої щораз при внесенні змін.

7. Блок переносу або відновлення файлів на іншому ПК:

– Відновіть повний образ диска, включаючи операційну систему, додатки, файл і налаштування, на ПК іншого типу або моделі.

– Переносите файли з однієї системи Windows в іншу, у тому числі на нові ПК.

– Відновіть повну конфігурацію системи в середовищі передвстановки Windows (WinPE).

8. Блок копіювання й відновлення динамічних дисків Windows:

– Копіюйте динамічні диски Windows.

– Відновлюйте динамічні томи на жорсткі диски "з нуля" або на попередньо налаштовані динамічні диски.

9. Блок створення архівів.

Висновки. У статті наведені теоретичне узагальнення й рішення наукового завдання дослідження методів стиснення та резервного дублювання даних. Рішення даного завдання полягало у вирішенні наступних задач: Був проведений огляд існуючих систем стиснення та резервного дублювання даних; Досліджена система стиснення та резервного дублювання даних; На основі отриманих результатів досліджень створена програмна реалізація системи стиснення та резервного дублювання даних. Розроблені під час виконання випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти алгоритми дозволяють успішно вирішувати завдання стиснення та резервного дублювання даних. 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-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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Kuznetsova T. «Non-binary constant weight coding technique». *CEUR Workshop Proceedings*. Volume 2740, 2020, Pages 102-114.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
 11. 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.
 12. 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.
 13. 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.
 14. 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.
 15. 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.
 16. 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.
 17. 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.
 18. 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.
 19. 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.
 20. 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.
 21. 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.
 22. 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.
 23. Батрак О., Смірнова Т., Гнатюк В., Одарченко Р., Смірнов О. «Дослідження показників ефективності функціонування та перспектив розвитку систем ІР-телефонії». Підводні технології, 2024, № 13, с. 28-35.
 24. 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.
 25. 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.