

УДК 004

**В.Кривожиha, магістр гр. КІ-24М,**  
*Центральноукраїнський національний технічний університет*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ SDN НА ОСНОВІ HUAWEI CLOUD FABRIC

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

### **SDN, Huawei Cloud Fabric**

**Постановка проблеми.** Бізнес усе активніше використовує віртуалізацію й хмарні технології для підвищення ефективності, удосконалювання процесів і одержання конкурентних переваг. Корпоративні центри обробки даних еволюціонують у напрямку хмарних середовищ на основі віртуалізації, що стала для бізнесу банальною необхідністю, а не якимось «ноу-хау». Логічний ланцюжок досить простий:

1. Віртуалізація обчислювальних ресурсів і ресурсів зберігання в сполученні з автоматизацією керування й оркестрації уможливили віртуалізацію робочого навантаження;
2. У свою чергу, віртуалізація робочого навантаження дозволяє менеджерам ІТ-систем і розроблювачам додатків швидко створювати нові екземпляри сервісів і додатків у центрі обробки даних.

Підвищення пропускної здатності при з'єднанні незалежних робочих навантажень і будь-яких зв'язаних сервісів через мережу до останнього часу було однією з основних «точок росту», однак зростали темпи розвитку віртуалізованих ресурсів для обчислень і зберігання даних диктують нові правила гри.

Прихід програмно-визначаємих мереж (SDN) ініціював появу більш гнучких систем визначення й конфігурації мережевих шляхів і екстерналізації площини мережевого контролю від індивідуальних пристроїв. Дана «що виноситься в поза» площина керування, що визначає логічну топологію мережі, тепер представляє вид мережі «великим планом» і забезпечує гнучку оптимізацію мережі на основі критеріїв, адаптованих до операційних аспектів середовища.

З погляду зовнішньої інтеграції цей SDN-контролер більш кращий завдячуючи програмним інтерфейсам, які дозволяють системам працювати спільно й узгоджено з іншими компонентами центра обробки даних.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** При аналізі останніх досліджень і публікацій [1-30] було виявлено певні прогалини у забезпеченні системи sdn на основі Huawei Cloud Fabric.

**Мета й завдання дослідження.** Метою роботи є дослідження та принципи побудови системи SDN на основі Huawei Cloud Fabric.

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

- Огляд існуючих систем SDN на основі Huawei Cloud Fabric.
- Дослідження системи SDN на основі Huawei Cloud Fabric.
- Програмна реалізація системи SDN на основі Huawei Cloud Fabric.

*Об'єктом дослідження є процес SDN на основі Huawei Cloud Fabric.*

*Предметом дослідження є методи SDN на основі Huawei Cloud Fabric.*

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

#### **Виклад основного матеріалу. Хмарне сервісне рішення Cloud Fabric для ЦОД**

Інноваційне рішення Huawei для мереж програмно-визначаємих ЦОД забезпечує користувачам гнучкість адаптації до постійних змін у роботі хмарних сервісів. Рішення дозволяє прискорити цифрову трансформацію завдяки простоті, прозорості й гнучкості мереж хмарних ЦОД. Рішення Huawei CloudFabric Data Center Network Solution засноване на технології програмно-визначаємих мереж, що дозволяє розгортати мережі хмарних ЦОД наступного покоління із сервіс-орієнтованою, відкритою архітектурою.

Мережа хмарних центрів обробки даних Huawei CloudFabric включає високопродуктивні базові комутатори CloudEngine 12800, стійкові комутатори верхнього рівня CloudEngine 8800/7800/6800/5800 і віртуальний комутатор CloudEngine 1800V. Застосування гнучкого контролера й технології SDN дозволяє розгортати мережі ЦОД наступного покоління в автоматичному режимі, оперативно й гнучко застосовувати конструктивні рішення й використовувати переваги інтелектуальної системи експлуатації й обслуговування мережі.

#### **Рішення автоматизованого розгортання мережі на базі технології CloudFabric SDN**

Щоб поспівати за змінами попиту на ринку в епоху цифрових технологій необхідні засоби, які дозволять організаціям оперативно впроваджувати сучасні персоналізовані додатки. У звичайних центрах обробки даних, де мережа й послуги розділені, цей процес іде повільно. Якщо необхідно запустити нові види послуг, розгортання мережі може зайняти від декількох тижнів до декількох місяців. Такі зміни вимагає перегляду безлічі політик, адаптація яких без засобів автоматизації відбувається неефективно. Мережа передачі даних може поєднувати фізичні пристрої, віртуальні машини й контейнери. Управляти настільки різноманітними ресурсами – завдання не із простих.

Щоб залишатися конкурентоспроможними, підприємства повинні швидко реагувати на зміни ринкового попиту. Для цього завдання компанія Huawei пропонує своє рішення на базі технології CloudFabric SDN, що автоматизує процеси конфігурування мережі, впровадження додаткових послуг, а також оптимізує доступ до фізичних пристроїв, віртуальним машинам і контейнерам, а також до хмарних систем. Автоматизація даних процесів дозволить скоротити строки запуску послуг з декількох тижнів до декількох хвилин, підвищити гнучкість обслуговування й домогтися успіху в бізнесі.

#### **Інтелектуальна система експлуатації й техобслуговування Fabric Insight**

За рахунок стрімкого розвитку хмарних обчислень традиційні мережі центрів обробки даних перестали задовольняти потреби в ІТ-сервісах. Підвищення ефективності керування мережею, її експлуатації й техобслуговування стає основним завданням модернізації архітектури мережі і її технологій. Технологічна інновація, програмно-визначаєма мережа SDN, забезпечує віртуалізацію й гнучке планування мережевих ресурсів шляхом централізованого призначення політик і контролю їхнього виконання. Але дана технологія сполучена з більшими проблемами, пов'язаними з експлуатацією й обслуговуванням мереж.

У порівнянні із традиційними мережами, SDN відрізняються наступними особливостями:

- Збільшення масштабу центра обробки даних. Візуалізація приводить до лінійного збільшення числа керованих вузлів ЦОДа. Для більше ефективного керування мережа SDN повинна одержувати інформацію про міграцію віртуальних машин.

– Динамічний статус мережі. Об'єкти керування в SDN змінилися – замість мережевих елементів використовуються логічні й фізичні мережі. При цьому стан мережі постійно змінюється у зв'язку з появою або зміною великої кількості послуг орендарів. Це робить тяжковимірюваною якість і доступність мережі.

– Відгук у реальному часі. У зв'язку з об'єднанням ресурсів центра обробки даних і ущільненням сервісів користувачам потрібно більш швидкий відгук мережі й оперативні методи відновлення після збоїв.

Рішення Fabric Insight Huawei з архітектурою платформи експлуатації й обслуговування наступного покоління забезпечує відгук у режимі реального часу у великих динамічних мережах, що допомагає вирішувати пов'язані з експлуатацією й техобслуговуванням проблеми в мережах SDN.

Рішення Fabric Insight забезпечує візуалізацію на фізичному, логічному й прикладному рівнях, інтелектуальні механізми локалізації несправностей і проактивну оптимізацію шляхом збору й аналізу Великих даних і використання додатків системи експлуатації й обслуговування. Це значно підвищує ефективність експлуатації й техобслуговування в мережах SDN.

#### **Трирівнева візуалізація мережі, чітке відображення параметрів якості мережі**

Рішення Fabric Insight підтримує відображення мережі на трьох рівнях – фізичн, логічному й прикладному, а також показує всі маршрути мережі. Крім того, дане рішення підтримує виявлення подій, що тривають усього декілька мілісекунд (наприклад, мікроперегони трафіку) і малі втрати пакетів (менш  $10^{-4}$ ), а також надмірно більші або надмірно маленькі потоки. Повна візуалізація стану мережі і її якостей дозволяє мережевим адміністраторам і користувачам підвищувати ефективність керування мережею.

#### **Аналітика Великих даних, виявлення несправностей за кілька хвилин**

Рішення Fabric Insight сканує всі маршрути. Періодично проводиться повне сканування маршрутів всієї мережі для своєчасного виявлення проблем, що викликають зниження якості. Результати перевірки допомагають мережевим адміністраторам визначити стан мережі й розпізнавати точки відмови.

Рішення Fabric Insight забезпечує моніторинг додатків для контролю всіх сервісних потоків мережі. При зниженні якості потоку послуг Fabric Insight швидко знаходить новий маршрут, на який переадресується потік, і, відслідковуючи зв'язку між сервісом і мережею, визначає причину зниження якості. Це скорочує час розпізнавання несправності до декількох хвилин.

#### **Проактивна оптимізація, забезпечення високої якості послуг**

Архітектура Fabric Insight надає можливості прогнозування несправностей, автоматичного аналізу й проактивної оптимізації. Платформа Великих даних використовується для розпізнавання можливих ризиків, таких як незбалансований розподіл трафіку й перевантаження по трафіку, не допускаючи впливу на послуги. На базі аналізу Великих даних рішення Fabric Insight визначає головну причину потенційних ризиків і генерує пропозиції по їхньому усуненню. Більші дані також допомагають прогнозувати трафік послуг мережі для реалізації політик динамічного розподілу навантаження (Dynamic Load Balancing; DLB) з метою забезпечення балансу трафіку.

Архітектура наступного покоління Fabric Insight Huawei використовується разом із платформами Великих даних для підвищення ефективності процесів експлуатації й обслуговування, а також скорочення витрат на реалізацію.

#### **Agile Controller для мереж ЦОД**

Рішення CloudFabric від Huawei з інтелектуальними функціями експлуатації й обслуговування спрощує розгортання мережі, надає можливість організації зверхширокополосних з'єднань і створення відкритої екосистеми для мереж центрів обробки даних нового покоління, що підтримують моментальний запуск корпоративних хмарних сервісів.

### **Автоматизація процесів**

Agile Controller для мереж ЦОД дозволяє створювати логічні мережеві моделі й мережеві конфігурації на базі вимог до сервісів з наступною їхньою передачею на пристрої в пакетному режимі, завдяки чому період розгортання послуг скорочується з декількох тижнів до декількох хвилин.

### **Надійність**

На базі Agile Controller для мереж ЦОД можливе створення високонадійного кластера. Agile Controller здатний обробляти послуги північного й південного інтерфейсів у режимі балансування навантаження, а робота в режимі активний/резервний забезпечує вилучене аварійне відновлення, що відповідає вимогам до надійності послуг центра обробки даних.

### **Безпека**

Безпека з мінімальним рівнем гранулярності для мереж центрів обробки даних. Мікросегментація IP-адрес, імен хостів і імен віртуальних машин і деталізована ізоляція доменів для запобігання погроз і забезпечення безпеки.

### **Cloud Fabric – сервісне рішення для ЦОД**

Huawei Cloud Fabric має властивості:

- Гнучкість: висока масштабованість хмарних сервісів і канали для передачі Великих даних (Big Data).
- Спрощення процесів: хмарне рішення для мережі Huawei в 10 разів прискорює активацію хмарних сервісів.
- Відкритість: спрощення хмарних обчислень за рахунок безшовного підключення до основних хмарних платформ.

Рішення Huawei Cloud Fabric покоління допомагає створити гнучку, зручну в керуванні, відкриту мережу для стабільного розвитку хмарних сервісів.

Структурна схема рішення Huawei Cloud Fabric наведена на рисунку 1.

У міру росту популярності хмарних сервісів і додатків SDN центри даних еволюціонують у бік Великих даних, послуг і розмаїтості систем.

Але є кілька проблем:

- застосування Великих даних пов'язане з інтенсивним збільшенням мережевого трафіку;
- IT-системи повинні швидко реагувати на більше швидкі й часті відновлення послуг;
- для хмарних екосистем потрібні більше відкриті мережі;

Хмарне рішення допомагає створювати гнучкі, прості, відкриті мережі центрів даних з підтримкою стабільного розвитку хмарних послуг.

Система передачі, маршрутизації, безпеки й мережевого керування – комплексне рішення мережі центра даних. Воно складається з декількох допоміжних рішень:

- З'єднання усередині центра даних (рішення хмарного зв'язку).
- З'єднання між центрами даних з відновленням після збоїв.
- Оптимізація захисту центра даних і його додатків.
- Керування мережею центра даних.

Компанія Huawei 18 червня 2018 року оголосила про комплексне відновлення рішення CloudFabric, що покликано спростити процес впровадження IDN-Технологій (Intent-Driven Network) у центрах обробки даних. Крім того, компанія представила 400-гігабітну платформу для ядра комутації із кращими експлуатаційними характеристиками в галузі.

Рішення Huawei Intent-Driven Networking для CloudFabric дозволяє підприємствам ідентифікувати необхідність застосування автоматичних мережевих конфігурацій, предиктивного аналізу й інтелектуальної експлуатації. Крім того, рішення забезпечує фізичну можливість ультраширокополосної мережевої взаємодії з низькою затримкою й нульовою втратою пакетів інформації. Intent-Driven Networking для CloudFabric, засноване на принципах інтелектуальності, простоти, ультраширокополосності, відкритості й безпеці,

оптимізується завдяки контролеру Agile Controller. Це рішення також використовує мережевий аналізатор ЦОД FabricInsight для впровадження предиктивного аналізу й автоматичного виявлення відхилень. Згодом це стане основою для створення автоматичної, саморегулюючої системи замкнутого циклу, що для користувача стане ще більш зручною.



Рисунок 1 – Структурна схема системи

Список функцій і ключових компонентів Intent-Driven Networking:

- IDN-автоматизація.
- Agile Controller дозволяє автоматично завершувати планування мережі з урахуванням сервісних мет і намірів користувача, що підвищує якість обслуговування. Один кластер може управляти 3 тис. вузлів на рівні доступу й може бути масштабований до 100 тис.серверів. Крім того, кластер контролера, що працює в активному й резервному режимі в співвідношенні 1:1, підвищує доступність системи й гарантує відсутність перебоїв в обслуговуванні при автоматичному перемиканні між активними й резервними вузлами. Agile Controller може взаємодіяти із численними хмарними платформами для гнучкого планування й розподілу ресурсів.
  - Предиктивний аналіз і виявлення відхилень.
  - Аналізатор FabricInsight устанавлює модель мережевого поведіння на підставі аналізу Великих даних і технології машинного навчання, безупинно контролює статус мережі для підтримки діагностичного технічного обслуговування й виявлення мережевих відхилень у лічені секунди, а також автоматично зв'язує мережеві відхилення (напр. перевантаження) з ураженими сервісами, що допомагає клієнтам оперативно виявляти й виправляти помилки.
  - 400-гігабітна платформа для ядра комутації із кращими експлуатаційними характеристиками в галузі.
  - Комутатор CE12800 підтримує 36 400-гігабітних мережевих карт і 400-гігабітне наскрізна взаємодія. Це дозволяє уникати недочас пропускнуої здатності, знижує вартість трафіку на 20% і забезпечує можливість подальшого розвитку на найближчі 10 років, затверджують в Huawei.

Рішення Huawei Intent-Driven Networking для CloudFabric, в основі якого лежить концепція IDN, відкриває доступ до передових рішень і продуктів для сервісів-провайдерів, великих корпорацій і середнього бізнесу, дозволяючи виявляти бізнес-наміру й мети клієнтів і домогтися автоматичного й інтелектуального розгортання й роботи мережі. На думку Huawei, завдяки цьому центри обробки даних стануть центрами комерційного потенціалу.

20 вересня 2017 року компанія Huawei представила рішення CloudFabric, створене на основі концепції модульних мереж, оптимізоване для конкретних сценаріїв. CloudFabric допомагає створювати центри обробки даних зі зверхспрощеними дизайном, розгортанням, технічним обслуговуванням і експлуатацією.

Як пояснили в компанії, хмарні обчислення стали ключовим двигуном цифрової трансформації, у результаті від дата-центрів потрібно, щоб вони були орієнтовані на конкретні сценарії. Однак цьому перешкоджає низька операційна ефективність традиційних універсальних рішень. Huawei CloudFabric покликаний допомогти підприємствам швидко створити зверхспрощені хмарні мережі ЦОД.

#### **Моделі фабрик**

Huawei CloudFabric надає три сценарії-орієнтовані моделі фабрик:

– Модель «Фабрика високої доступності/відказостійкості» (High Availability Fabric) орієнтована на мережі ЦОД з підвищеними вимогами по надійності й безпеці, а також інтелектуальною системою технічного обслуговування й експлуатації, що забезпечує цілодобову роботу критичних важливих сервісів у фінансовому секторі та ін.

– Модель «Фабрика гіпермасштабованості» (Hyperscale Fabric) орієнтована на гіпермасштабовані й мережі, що не блокують, ЦОД з безліччю хмар автоматизованого керування.

– Модель «Фабрика високопродуктивних обчислень» (HPC Fabric) орієнтована на ЦОД, де необхідні високопродуктивні обчислення, і може бути використана в таких секторах, як супутникове картографування, визначення енергії (energy detection) і медико-біологічні науки, оскільки відповідає вимогам нульової втрати пакетів інформації й низького значення затримки в Ethernet-фабриках.

У той час, як цифрова трансформація підприємств прискорюється, переклад сервісів у хмару не обмежується інтернет-галуззю – він охоплює фінансовий, промисловий, енергетичний сектора. Відповідно, сценарії використання хмарних мереж ЦОД стають усе більше різноманітними. Підприємства в кожній галузі намагаються ефективніше використовувати хмарні технології для досягнення прогресу в галузі й підвищення операційної ефективності. Huawei CloudFabric визначає сценарій-орієнтовані моделі фабрик, концентрується на мережі й додатках, а не мережевих елементах, і допомагає підприємствам швидко створити мережі на базі хмари з обліком конкретних сервісних сценаріїв і майбутнього розвитку, тим самим прискорюючи цифрову трансформацію.

За твердженням Huawei, рішення CloudFabric здатне спростити мережеву архітектуру й скоротити період проектування від декількох місяців до декількох днів. Крім того, завдяки відкритій SDN-архітектурі й автоматичній доставці мережевих налаштувань і правил забезпечення безпеки, це рішення скорочує час надання послуги від декількох тижнів до декількох хвилин, тим самим забезпечуючи зверхспрощене розгортання.

Нарешті, завдяки інтелектуальному мережевому аналізу й платформі FabricInsight продукт CloudFabric оптимізує прийняття рішень і скорочує строк виявлення збоїв від декількох годин до декількох хвилин.

5 вересня 2016 року компанія Huawei повідомила про випуск версії Cloud Fabric 5.0 для хмарних сервісів на платформі Huawei Fabric Insight Refined Operations and Maintenance (O&M).

#### **Мережеве рішення для центра обробки даних Huawei Cloud Fabric**

Серія комутаторів Huawei CloudEngine являє собою кілька лінійок комутаторів, що базуються на новітній апаратній архітектурі. Це найбільш продуктивні із представлених на ринку комутаторів базової мережі. Серія містить у собі чотири різні лінійки.

Лінійка PE12800 містить у собі високопродуктивні комутатори, які орієнтовані на експлуатацію в мережах центрів обробки даних і високошвидкісних мереж освітніх установ.

Ці комутатори базуються на новітній апаратній архітектурі й забезпечують комутаційну ємність 64 Тб/с. Кожний пристрій цієї серії укомплектовано 192 портами Ethernet 100 Гб, 384 портами Ethernet 40 Гб або 1536 портами Ethernet 10 Гб.

Інноваційна система охолодження забезпечує надійність корпоративного рівня. Крім того підтримується безліч передових технологій, що забезпечують економію споживаної енергії.

Лінійка CE7800 відмінно підходить для використання як основні комутатори або комутаторів агрегування в рамках університетських мереж або в центрах обробки даних.

Ці пристрої базуються на інноваційній архітектурі. Вони надають 40 високоплотних портів GE QSFP+, дозволяючи здійснювати комутацію другого й третього рівня зі швидкістю середовища передачі. Характеризуються відмінної енергоефективністю.

Лінійка CE6800 підтримує найвищу в галузі щільність 10 портів доступу GE. Підтримується реалізація великої кількості функцій ЦОД і можливість ефективного стекування. Інноваційна система охолодження, що дозволяє змінювати напрямок повітряного потоку, забезпечує надійну й стабільну роботу протягом тривалого часу.

Лінійка CE5800 – це перша в галузі серія комутаторів з 40 портами висхідної передачі GE. Інноваційний дизайн забезпечує виняткову щільність портів доступу. Це чудові комутатори для оптимізації мережевих інфраструктур рівня ЦОД або мереж університетів.

Серія комутаторів Huawei CloudEngine – це надійні, інноваційні й продуктивні рішення.

**Висновки.** У статті наведені теоретичне узагальнення й рішення наукового завдання дослідження методів SDN на основі Huawei Cloud Fabric. Рішення даного завдання полягало у вирішенні наступних задач:

- Був проведений огляд існуючих систем SDN на основі Huawei Cloud Fabric.
- Досліджена система SDN на основі Huawei Cloud Fabric.
- На основі отриманих результатів досліджень створена програмна реалізація системи SDN на основі Huawei Cloud Fabric. Розроблені алгоритми дозволяють успішно вирішувати завдання SDN на основі Huawei Cloud Fabric. 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. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Kuznetsova T. «Non-binary constant weight coding technique». *CEUR Workshop Proceedings*. Volume 2740, 2020, Pages 102-114.
  10. 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.
  11. 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.
  12. 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.
  13. 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.
  14. 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.
  15. 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.
  16. 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.
  17. 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*.
  18. 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.
  19. 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.
  20. 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.
  21. 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.
  22. 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.
  23. 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.
  24. 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.
  25. 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*.
  26. 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
  27. 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.
  28. 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.
  29. 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.
30. 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.
  31. Смірнов О.А., Дреєва Г.М., Дреєв О.М., Смірнова Т.В. «Фрактальний аналіз генератора самоподібного трафіку на основі ланцюга Маркова». Центральнoукраїнський науковий вісник. Технічні науки. № 2(33). с. 161-172, 2019.
  32. 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.
  33. 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).