УДК 004

М.Шуляк, магістр гр. КІ-23М,
Центральноукраїнський національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ETHERNET-ФАБРИКОЮ BROCADE VCS

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

Постановка проблеми. Питання побудови й експлуатації сучасної віртуалізованої мережі є найважливішими для фахівців в області центрів обробки даних. Значна увага приділяється актуальним тенденціям галузі: віртуалізації й програмно обумовленим мережам (SDN), продуктам для побудови мережної інфраструктури центрів обробки даних – LAN і SAN, а також організації комунікацій між віддаленими площадками й створенню розподілених центрів даних.

Ethernet-фабрика Brocade VCS реалізує віртуальний розподілений комутатор рівня доступу й агрегування. Вона практично не вимагає налаштування, підтримуючи «самоформування» і автовиявлення пристроїв у будь-якій топології, при цьому керування нею здійснюється як одним віртуальним комутатором. Для запуску фабрики досить задати її домен і ID, а потім можна користуватися єдиною консоллю керування всіма комутаторами. Тобто є програмно-визначаємою мережею або програмно-конфігуруємою мережею (англ. software-defined networking, SDN) – мережею передачі даних, у якій рівень керування мережею відділений від пристроїв передачі даних і реалізується програмно. Одна з форм віртуалізації мережі.

SDN уже знаходить практичне застосування. У даній роботі, система, яка розроблена, допомагає знизити негативний вплив атак DDoS. Погрози виявляються за допомогою sFlow-RT (у режимі реального часу) і відправляються на колектор, де обробляються програмним забезпеченням централізованого керування мережею Brocade Network Advisor, здатним виступати також як контролер sFlow. Колектор сповіщає контролер, що потрібно використовувати правило OpenFlow DDoS на маршрутизаторі MLXe для протидії атаці DDoS.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При аналізі останніх досліджень і публікацій [1-10] було виявлено певні прогалини у забезпеченні системи керування Ethernet-фабрикою Brocade VCS.

Мета й завдання дослідження. Метою роботи є дослідження та програмна реалізація системи керування Ethernet-фабрикою Brocade VCS.

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

- Огляд існуючих систем керування Ethernet-фабрикою Brocade VCS.
- Дослідження системи керування Ethernet-фабрикою Brocade VCS.

– Програмна реалізація системи керування Ethernet-фабрикою Brocade VCS.

Об'єктом дослідження є процес керування Ethernet-фабрикою Brocade VCS.

Предметом дослідження є методи керування Ethernet-фабрикою Brocade VCS.

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

Виклад основного матеріалу. Віртуалізація від NUAGE

Мережні інфраструктури стають вузьким місцем при «переході» до віртуалізованих IT і хмарної моделі одержання IT-сервісів. Динамічне середовище віртуальних машин (ВМ) дуже погано співвідноситься зі статичними мережами, у яких використовуються протоколи (наприклад, VLAN і STP), що застосовувалися в них і п'ять, і десять років тому.

Розглянемо типове завдання по розгортанню нового додатка або впровадженню нового сервісу, що складає з декількох функціональних компонентів, розміщених у різних підмережах. Раніше для цього була потрібна установка нових серверів, що займало кілька тижнів. Сучасні системи віртуалізації серверних ресурсів дозволяють виділити необхідні новому додатку або сервісу віртуальні машини з потрібною продуктивністю за лічені мінути.

Однак відповідна підготовка мережі займає набагато більше часу. Конфігурування різних типів мережних пристроїв часто відбувається вручну й вимагає залучення великої кількості фахівців:

– один займається локальною мережею;
– інший – територіально розподіленою;
– третій – налаштуванням VLAN;
– четвертий – конфігуруванням межмережних екранів і т.д.

Як результат, всі переваги віртуалізації серверів у частині прискорення впровадження додатків зводяться на ні «повільністю» традиційних процедур налаштування мережі.

Вирішити проблему дозволяють нові технології віртуалізації мережі, які зараз активно розробляють і виводять на ринок багато виробників. Одне з найбільш зрілих рішень, що вже розгорнули у своїх мережах кілька закордонних компаній, пропонує Nuage Networks. Воно підтримує більшість основних гіпервізорів (KVM, Xen, ESXi), систем оркестрації (включаючи VMware, OpenStack, CloudStack) і працює поверх мережної інфраструктури, побудованої на встаткуванні будь-якого виробника.

Рішення Nuage Networks Virtualized Services Platform (VSP) складається із трьох основних елементів:

– каталогу віртуалізованих сервісів (Virtualized Services Directory, VSD);
– агентів віртуальної маршрутизації/комутації (Virtual Routing & Switching, VRS);
– контролерів віртуалізованих сервісів (Virtualized Services Controller, VSC).

Каталог VSD забезпечує високий рівень абстракції. Він дозволяє описати мережні структури користувачів хмарної мережі й надати можливість адміністраторам самостійно управляти мережними ресурсами в заданих границях. Найважливішою функцією VSD є створення шаблонів мережних політик, не зв'язаних зі специфікою апаратного пристрою мережі. Надалі, при запуску конкретного екземпляра віртуалізованого додатка, на основі заданого шаблона створюється опис конфігурації його мережі. Наприклад, окремий шаблон можна створити для додатків (віртуальних машин), що поміщаються в «демілітаризовану» зону, доступ у яку може здійснюватися тільки по TCP і тільки через протокольний порт 80.

Агенти VRS відповідають за керування віртуальними мережними інтерфейсами відповідно до заданих шаблонів (політиками) і працюють під керуванням найпоширеніших гіпервізоров. Вони інкапсулюють генеруємий віртуальними машинами трафік і передають його між кінцевими точками (гіпервізорами) по тунелях. Таким чином, поверх фізичної інфраструктури мережі формується накладена мережа типу «фабрика».

Агенти VRS одержують інструкції щодо того, що робити з конкретним трафіком, від контролера VSC, відповідального за цілісну роботу й подання загальної топології багатокористувальницької мережі. Оскільки цей контролер використовує ту ж операційну

систему SROS, що й лінійка сервісних маршрутизаторів Alcatel-Lucent 7?50, на базі якої працюють ряд найбільших у світі IP-мереж, він здатний управляти повнофункціональною маршрутизацією (на рівнях L 2-L4) для тисяч користувальницьких підмереж.

При запуску віртуальної машини, що виконує роль одного з функціональних компонентів віртуалізованого додатка, контролер VSC по запиті від VRS одержує з бази даних VSD екземпляр шаблона (instance). Потім цей шаблон завантажується в контролер, що автоматично набудовує всі мережні елементи, які можуть бути задіяні в обслуговуванні даного додатка. Ручне переконфігурування окремих мережних пристроїв виключається.

Шаблон, у якому визначені мережна конфігурація й правила обробки трафіку конкретного додатка, залишається прив'язаний до відповідних віртуальних машин поза залежністю від їхніх переміщень. Вони можуть розташовуватися в одному ЦОД або в декількох, переміщатися між фізичними серверами й територіально віддаленими площадками – віртуальна мережа буде автоматично підлаштовуватися. Якщо традиційна пошта завжди доставляється в конкретне фізичне місце, те електронна сьогодні доставляється на ПК, ноутбук і/або смартфон незалежно від того, де ви перебуваєте.

Прискорення інтеграції віртуалізованого додатка/сервісу в мережу, пояснює він, досягається за рахунок створення шаблона, у якому вказуються вимоги до мережі, включаючи конфігурацію підмереж, параметри якості обслуговування (QoS), налаштування безпеки та ін. Пізніше адміністратор може багаторазово тиражувати його при розгортанні екземплярів віртуалізованого додатка/сервісу.

На практичному семінарі фахівці Nuage Networks розгорнули демонстраційну мережу, до складу якої входили хости із двома типами гіпервізорів: ESXi (під керуванням VMware vCenter) і KVM (під керуванням OpenStack Havana). За допомогою засобів VSD було продемонстроване формування структури накладеної мережі (поділ її на зони, підмережі), після чого подібні дії були виконані із застосуванням системи OpenStack – відповідні зміни автоматично з'явилися в каталозі Nuage VSD.

Потім віртуальні машини були запущені на хостах з гіпервізорами KVM і ESXi (в останньому випадку через vCenter). Вони містилися в ті зони (підмережи), які забезпечували необхідні ним параметри обслуговування. Трафік між гіпервізорами різних типів (KVM і ESXi) передавався в режимі L3 – тобто з маршрутизацією.

Найбільш затребуваний сценарій – «живаючи» міграція віртуальних машин з одного хоста на інший. Ця процедура була ініційована із системи керування vCenter, а мережа автоматично перенастроїлася для обслуговування ВМ на новому місці. Шаблон, що визначає правила обробки трафіку додатка, автоматично треба за віртуальною машиною при її переїзді. При цьому ніякого втручання адміністратора не потрібно. Більше того, віртуальну мережу можна розтягти по VPN через територіально розподілену мережу (WAN) до офісної мережі компанії.

З огляду на той факт, що не всі підключені до мережі пристрої піддаються віртуалізації, рішення Nuage VSP передбачає механізми інтеграції апаратних компонентів (таких, наприклад, як сервери баз даних, межмережні екрани, різні шлюзи). Для сценаріїв, що не вимагають високої продуктивності, пропонується програмний модуль VRS Gateway. Для ситуацій з більшими обсягами трафіку розроблений апаратний шлюз 7850 VSG із продуктивністю більше 1 Тбіт/с, що підтримує інтерфейси 1GE, 10GE і 40GE.

Розробка структурної схеми

Brocade: віртуалізуючі фабрики й мережні функції

З 2008 року в результаті покупки Foundry Networks у лінійці компанії Brocade з'явилися IP-Рішення, і зараз у сферу її інтересів входять класичні IP-маршрутизатори L3, а також SDN, NFV і засобу оркестрації хмар (автоматизація виділення ресурсів у хмарі й керування ними). Останні реалізуються Brocade по SAN і LAN у рамках проекту OpenStack. На семінарі компанії Brocade, для якої рішення, орієнтовані на ЦОД, мають стратегічне значення, були представлені як уже успішно експлуатовані в замовників продукти, так і нові розробки.

З появою в нашій лінійці продуктів Ethernet ми взяли краще з миру FC, об'єднали ці інструменти з технологіями Ethernet і одержали Ethernet-фабрики – віртуальний розподілений Ethernet-комутатор. Фактично це новий підхід до побудови мережі передачі даних – з використанням одного логічного комутатора, керування яким здійснюється з єдиної точки, і при цьому забезпечується високий ступінь автоматизації. Зараз поряд з фабриками FC лінійка Brocade містить у собі Ethernet-фабрики – основні її рішення для ЦОД.

Ethernet-фабрика Brocade VCS

Ethernet-фабрика Brocade VCS реалізує віртуальний розподілений комутатор рівня доступу й агрегування. Вона практично не вимагає налаштування, підтримуючи «самоформування» і автовиявлення пристроїв у будь-якій топології, при цьому керування нею здійснюється як одним віртуальним комутатором. Для запуску фабрики досить задати її домен і ID, а потім можна користуватися єдиною консоллю керування всіма комутаторами.

Для підвищення надійності підтримується топологія Full Mesh, завдяки чому працездатність системи зберігається навіть при виході з ладу одного комутатора. Крім того, фабрика готова до конвергенції (FC 16 / FCo 10 Гбітс), підтримує три рівні балансування трафіку й здатна агрегувати (без попереднього налаштування) велика кількість каналів. Завдяки покадровому балансуванню забезпечується рівномірний розподіл навантаження між портами комутаторів. За допомогою протоколу ECMP здійснюється балансування між еквівалентними за вартістю шляхами, що з'єднують кінцеві точки (незалежно від числа транзитних вузлів). А балансування навантаження між шлюзами VRRP-E L3 (до чотирьох шлюзів) поліпшує масштабованість і надійність рішення.

Недавно з'явилася в Brocade технологія дає можливість створювати «віртуальні фабрики» усередині VCS. Виділення логічних фабрик для кожного користувача в рамках поділюваної фізичної фабрики на основі TRILL Fine-Grained Labels (IETF draft) дозволяє повторно задіяти VLAN. У рамках кожної фізичної фабрики підтримується до 8000 віртуальних фабрик VCS.

Завдяки інтеграції з VMware vCenter, Ethernet-фабрика може одержувати інформацію про віртуальні машини, їх MAC- і IP-адресах, групах VLAN. Ця інформація автоматично заноситься в Ethernet-фабрику, і за замовчуванням створюються «профілі портів», до яких можна застосовувати різні налаштування – наприклад, задавати якість обслуговування QoS. Система настроюється однократно – надалі фабрика сама застосовує задані політики по MAC-адресі, на якому б з портів він не був ідентифікований. Одна фабрика поєднує до 48 комутаторів.

В останніх версіях фабрики Brocade реалізований VXLAN-шлюз VCS (VTEP) для VMware NSX – міст між віртуальними й фізичними ресурсами. Його можна використовувати для інтеграції із класичними мережами, що не підтримують VXLAN. Повна підтримка VCS реалізована в комутаторах Brocade VDX серії 6740 і маршрутизаторах 8770. У серії 6740 (SDN-ready) можна використовувати протокол OpenFlow 1.3. Відповідно до планів Brocade, контролер SDN з'явиться на ринку під кінець року. Він буде сполучати функції контролера й комутатора SDN, продовжуючи лінійку VDX 6740. Протокол OpenFlow підтримується також продуктами Brocade Fibre Channel.

На думку аналітиків, у найближчій перспективі будуть розгортатися переважно гібридні рішення, що сполучають традиційну мережну інфраструктуру й SDN, тому більшість комутаторів SDN допускають програмне перемикання між SDN і комутацією L2/L3. Тим самим знижуються ризики впровадження нової технології. Brocade пропонує своє рішення. На відміну від інших вендорів компанія розробила комутатори й маршрутизатори з «гібридними портами», тобто вони можуть працювати в змішаному режимі, підтримуючи як традиційне керування, так і керування за допомогою контролера SDN. Такий режим зараз реалізується маршрутизаторами Brocade MLXe. SDN уже знаходить практичне застосування.

У даній роботі, система, що розроблена, допомагає знизити негативний вплив атак DDoS. Погрози виявляються за допомогою sFlow-RT (у режимі реального часу) і відправляються на колектор, де обробляються програмним забезпеченням централізованого

керування мережею Brocade Network Advisor, здатним виступати також як контролер sFlow. Колектор сповіщає контролер, що потрібно використовувати правило OpenFlow DDoS на маршрутизаторі MLXe для протидії атаці DDoS. Все це відображено на структурній схемі системи (рисунок 1).

Поряд з SDN, у мережній галузі набирає популярність технологія NFV. Вона дозволяє за допомогою віртуалізації консолідувати різні мережні пристрої (межмережне встаткування, комутатори, маршрутизатори, балансувальники навантаження й т.п.) на стандартних серверах x86, що веде до зменшення вартості й збільшенню «живучості» систем. Перераховані пристрої стають віртуальними (функціонують у вигляді ВМ), так що здобувати дороге «залізо» не потрібно. Тим часом Brocade уже пропонує віртуальний маршрутизатор Vyatta vRouter з функціями концентратора VPN із шифруванням IPSec і межмережного екрана. Це відносно недороге й гнучке рішення для невеликої мережі Ethernet дає можливість надавати мережні функції «по запиті» і реалізує маршрутизацію, межмережний екран, VPN. Для розгортання таких ВМ можна використовувати існуючі стандартні сервери x86, здатні успішно заміняти спеціалізовані системи, у тому числі рішення для інфраструктури зв'язку. vRouter інтегрований зі стандартними оркестраторами (OpenStack).

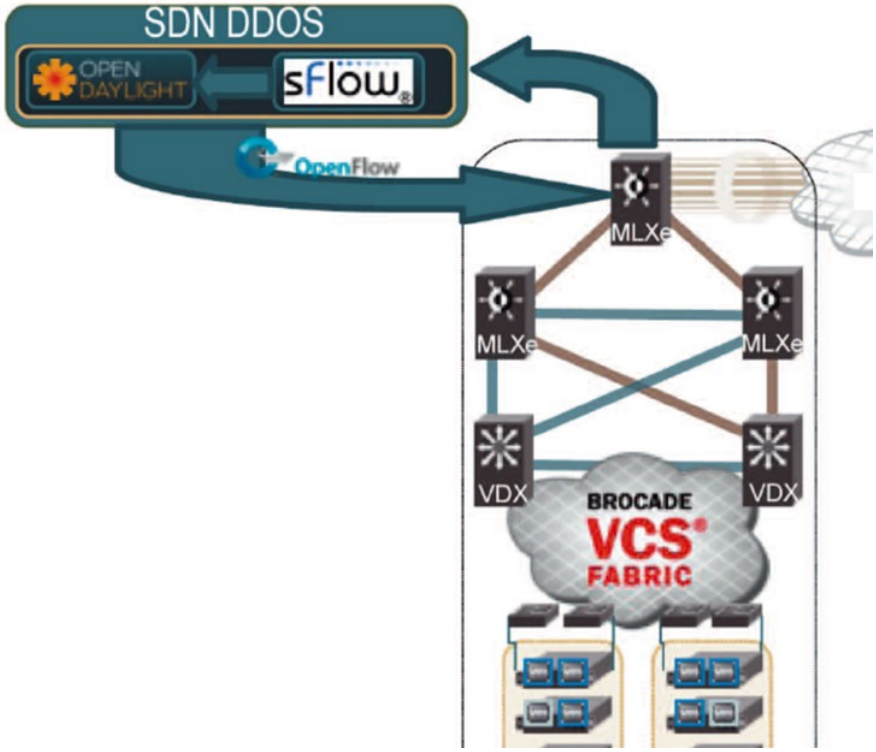

Рисунок 1 – Структурна схема системи

Ще один віртуальний продукт Brocade – повнофункціональний балансувальник трафіку додатків ADX. Будучи ключовим компонентом L 4-L7 в NFV, він динамічно балансує трафік додатків і прискорює запуск сервісів. Для цілей централізованого керування передбачається підтримка OpenStack і API. Віртуальний ADX можна розгортати у вигляді ВМ на сервері з гіпервізором або без гіпервізора, виділяючи йому весь сервер. Ці продукти дозволяють гнучко (по запиті) впроваджувати різні сервіси, однак пропускна здатність у них трохи нижче, ніж у фізичних пристроїв, – від 10 Мбіт/с до 3 Гбіт/с (обмеження залежить від ліцензії, а не від швидкодії сервера). Продуктова лінійка Brocade, включаючи віртуальні пристрої, підтримує оркестрацію по протоколі OpenStack (через оркестратори сторонніх вендорів). Компанія бере активну участь у розробці стандартів OpenStack і пропонує розширення Dynamic Network Resource Management (DNRM) у рамках проекту Neutron, щоб спростити побудова мультивендорних мереж. Зі збільшенням обсягів трафіку й кількості підключених до мережі пристроїв конфігурування мереж і керування ними перетворюється в

складне завдання. Щоб неї полегшити, потрібні серйозні зміни в підходах до побудови, експлуатації мереж і керуванню ними. Мережна інфраструктура розвивається й еволюціонує повільно, відстаючи від бурхливого розвитку засобів віртуалізації серверів і систем зберігання, однак саме мережі повинні стати надійною й гнучкою основою для середовища хмарних обчислень. В останні рік-два намітився явний прогрес, а розробки в області NFV відкривають для замовників перспективи переходу від апаратних до віртуальних мережних рішень зі збереженням всіх функцій, властивим апаратним продуктам.

Висновки. У статті наведені теоретичне узагальнення й рішення наукового завдання дослідження методів керування Ethernet-фабрикою Brocade VCS.

Рішення даного завдання полягало у вирішенні наступних задач:

– Був проведений огляд існуючих систем керування Ethernet-фабрикою Brocade VCS.

– Досліджена система керування Ethernet-фабрикою Brocade VCS.

– На основі отриманих результатів досліджень створена програмна реалізація системи керування Ethernet-фабрикою Brocade VCS.

Розроблені під час виконання випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти алгоритми дозволяють успішно вирішувати завдання керування Ethernet-фабрикою Brocade VCS. 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. 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.
3. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Kuznetsova T. «Non-binary constant weight coding technique». CEUR Workshop Proceedings. Volume 2740, 2020, Pages 102-114.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Smirnov O. Kuznetsov A., Zaicenko 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. Smirnov A.A., Kuzne tsov 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.
20. Смірнова Т.В., Конопліцька-Слободенюк О.К., Буравченко К.О., Смірнов С.А., Кравчук О.В., Козірова Н.Л., Смірнов О.А. «Дослідження технологій забезпечення кібербезпеки хмарних сервісів IaaS, PaaS та SaaS». Кібербезпека: освіта, наука, техніка. 2024. №4(24), С. 6-27.
21. Батрак О., Смірнова Т., Гнатюк В., Одарченко Р., Смірнов О. «Дослідження показників ефективності функціонування та перспектив розвитку систем IP-телефонії». Підводні технології, 2024, № 13, с. 28-35.
22. 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.
23. 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.
24. 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.
25. 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.
26. 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.
27. 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