

УДК 004

Д.Купчин, магістр гр. КН-22МЗ

Центральноукраїнський національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МАРШРУТИЗАЦІЄЮ У ЦЕНТРАХ ОБРОБКИ ДАНИХ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ TRILL

У статті розроблено програмне забезпечення, яке призначено для системи управління маршрутизацією у центрах обробки даних за технологією TRILL. Метою розробки є дослідження та програмна реалізація системи управління маршрутизацією у центрах обробки даних за технологією TRILL. Об'єктом дослідження є процес управління маршрутизацією у центрах обробки даних за технологією TRILL. Предметом дослідження є методи управління маршрутизацією у центрах обробки даних за технологією TRILL. Методи дослідження базуються на методах хмарних технологій, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення. Результат роботи – програмна реалізація системи управління маршрутизацією у центрах обробки даних за технологією TRILL. В процесі роботи над програмною моделлю виконано аналіз існуючих апаратних та програмних засобів. В повній мірі описані всі компоненти розробленого програмного забезпечення.

Постановка проблеми. На зміну архітектурі «клієнт-сервер», яка багато років домінувала в ІТ, приходить сервіс-орієнтована архітектура. Якщо раніше більшість процесів серверної частини виконувалися на одному фізичному сервері, а тому при взаємодії між ними мережа не задіялася, то зараз для підвищення ефективності використання обчислювальних ресурсів окремі процеси розподіляються по різних серверах, що істотно підвищує навантаження на мережу. У сервіс-орієнтованій архітектурі більшість даних залишається усередині центрів обробки даних (ЦОД, дата центри), і передається між його встаткуванням, тоді як частка трафіку між клієнтами й серверами в загальному обсязі даних, що пересилаються по мережах, знижується. На першій стадії розвитку технологій віртуалізації вона використовувалася для підвищення ефективності використання ресурсів окремих серверів, що лише незначно збільшувало навантаження на мережу. З появою рішень на зразок VMotion стала можливою міграція віртуальних машин (без переривання роботи додатків) для підвищення ефективності використання ресурсів серверного парку в цілому. Це привело до різкого росту трафіку по горизонталі. Один тільки факт «розвороту на 90°» основного напрямку передачі трафіку вже робить малоефективними як традиційну ієрархічну архітектуру мереж (доступ – агрегація – ядро), так і логічні структури на зразок «дерева», які були оптимізовані для пересилання трафіку від «кореня» до «листів» і назад, тобто по вертикалі. До цього варто додати ріст інтересу замовників до конвергенції мереж – до впровадження технології FCoE, для якої потрібна гарантована передача трафіку без втрат, а також до повноцінної віртуалізації мережної інфраструктури для підтримки вже віртуалізованих серверів і переходу до хмарної моделі надання/одержання ІТ-сервісів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При аналізі останніх досліджень і публікацій [1-20] було виявлено певні прогалини у забезпеченні системи управління маршрутизацією у центрах обробки даних за технологією TRILL.

Мета й завдання дослідження. Метою роботи є дослідження та програмна реалізація системи управління маршрутизацією у центрах обробки даних за технологією TRILL.

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

– Огляд існуючих систем управління маршрутизацією у центрах обробки даних за технологією TRILL.

– Дослідження системи управління маршрутизацією у центрах обробки даних за технологією TRILL.

– Програмна реалізація системи управління маршрутизацією у центрах обробки даних за технологією TRILL.

Об'єктом дослідження є процес управління маршрутизацією у центрах обробки даних за технологією TRILL.

Предметом дослідження є методи управління маршрутизацією у центрах обробки даних за технологією TRILL.

Методи дослідження базуються на методах хмарних технологій, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення.

Виклад основного матеріалу. Приведемо опис технології TRILL (Transparent Interconnection of Lots of Links).

TRILL дозволяє легко конфігурувати Ethernet. Концепція обробки пакетів при відомому місці призначення:

– RBridges запускає протокол стану зв'язків, за допомогою якого маршрутизатору відомо про всіх RBridges у мережі й стани лінків між ними. Використовуючи цей протокол, кожний RBridges розраховує коротку відстань між собою й кожним RBridges у мережі, а так само дерева для доставки multideestination трафіку.

– Коли RBridges1 посилає Ethernet фрейм від кінцевого вузла А, кінцевому вузлу В, що перебуває за іншим RBridges2, то RBridges1 інкапсулює фрейм в TRILL заголовок і пересилає RBridges2. Заголовок TRILL складається з полів "ingress RBridge", "egress RBridge" і лічильника.

– Коли RBridges2 приймає інкапсульований пакет, RBridges2 знімає TRILL заголовок і відправляє пакет кінцевому вузлу В.

Заголовок TRILL

Основне поля заголовка TRILL – ingress RBridge nickname (16 bits), egress RBridge nickname (16 bits), hop count (6 bits), й multideestination flag bit (1 bit). Довжина поля призначення 16 біт, тому може бути складена таблиця для простого пошуку вихідного порту, у відмінності від Ethernet 6-ти байтового значення, що вимагає хешування, або довгих префіксів, що погодять, IP.

Learning End-Node Locations

За замовчуванням механізм навчання перепискою між ingress RBridge, source MAC address і коли egress RBridge декапсулює пакет. Якщо RBridgel не знає де перебуває dstMAC-адреса, то RBridgel інкапсулює пакет у заголовок TRILL й встановлює multideestination flag, указуючи тим самим, що пакет може бути переданий через все дерево RBridge.

Додатковим опціональним механізмом є End-Station Address Distribution Information (ESADI). ESADI дозволяє RBridgel представляти декілька або всі кінцеві вузли, приєднані до нього. Обидва механізми (подання й прослуховування) є опціональними. Вони мають ряд переваг:

– Пакети ESADI можуть мати криптографічний захист.

– RBridge має більше підстав знати, що конкретний вузол прикріплений до нього, ніж звичайний перегляд заголовка пакета.

– На RBridge може бути реалізований таймер для перевірки кінцевих вузлів.

Крім того можна створити каталог, у якому перераховані не тільки (RBridge nickname, {set of attached end-node MAC addresses}), але також {(end-node IP address, end-node MAC address)}. RBridgel або hypervisor, або процес кінцевого вузла можуть запросити інформацію про вузол призначення й інкапсульованих пакетах замість flooding, що дозволяє обійти використання протоколів ARP (IPv4) і ND (IPv6).

Link State Protocols

Це маршрутизуючий протокол, у якому кожний маршрутизатор визначає своїх сусідів розсилаючи broadcasts Link State Packet (LSP). Всі маршрутизатори мають трохи LSPdatabase, тому що вони всі одержують і зберігають останнє згенероване LSP кожного іншого маршрутизатора. LSPdatabase подає повну інформацію, необхідну для обчислення шляху. І цієї інформації досить для всіх маршрутизаторів для розрахунку сполучного дерева без необхідності використання алгоритму STP.

Acquiring Nicknames

З огляду на, що останній сформований пакет поширюється й зберігається на RBridge, те за допомогою цієї функції можна поширювати й іншу інформацію, таку як робота протоколу для вибору унікального імені маршрутизатора в мережі. Кожний маршрутизатор вибирає ім'я випадково, уникаючи вже існуючих у мережі імен. Якщо 2 маршрутизатори вибрали однакові імена, то суперечка дозволяється пріоритетом маршрутизатора й 6-byte system ID.

Mixing RBridges with Bridges

TRILL улаштований так, що будь-яка підмножина мостів у мережі можуть бути замінені на RBridges. Набір каналів з'єднаних мостами буде сприйматися як RBridges одна загальна сполучна ланка. Усередині міст буде поводитися як звичайний міст, створюючи каркас для пересилання пакетів.

У доповненні TRILL заголовка, коли RBridge1 пересилає TRILL-інкапсульований фрейм до RBridge2 може бути додане поле типу з'єднання. Хоча в основному TRILL працює з Ethernet фреймами, але він так само може працювати з PPP, IPSecurity tunnel, MPLS. Якщо лінк Ethernet, то зовнішній заголовок Ethernet, якщо PPP, то PPP і т.д.

Зовнішні заголовки потрібні для двох цілей:

– Якщо це міст на з'єднанні, то він буде сприймати пакет як звичайний Ethernet пакет і пересилати його через сполучне дерево. Вивчаюча таблиця мосту на лінку буде бачити тільки адресу RBridge на цьому лінку.

– Це дозволяє R1 при відправленні фрейму з multiple neighbors, указувати, який з них обраний для пересилання фрейму. Для приклада: якщо однакова вартість шляху до пункту призначення від R2 і R3, то R1 потрібно вказати який R2 або R3 буде пересилати фрейм, у протилежному випадку фрейм буде дубльований.

У такий спосіб інкапсульований фрейм може мати три заголовки:

– Зовнішній заголовок або заголовок hop-by-hop, що знімається на кожному хопі і є специфічним для типу ланки.

– Заголовок TRILL, що за аналогією третього рівня залишається на місці, поки фрейм пересилається від першого RBridge (інкапсульюючого) до останнього (деінкапсульюючого).

– Внутрішній заголовок, що визначає адреси кінцевих вузлів (srci dst).

Appointed Forwarders

Якщо два RBridges на лінку підключені до одного кінцевого вузла, то тільки один з них повинен інкапсульувати пакет в TRILL. Проте, якщо кінцевий вузол передасть мультикастовий пакет або пакет unknown destination, те R1 інкапсулює пакет і передасть у мережу, R2 одержить цей пакет, і деінкапсулює його. Деінкапсульований пакет знову буде переданий у мережу, прийнятий R1 і знову інкапсульован. Вартість пройдених хопів не вирішить цю проблему, тому що вона не існує, поки пакет не інкапсульован. У протоколі IS-IS один з RBridges вибирається Designated RBridge (DRB). DRB може делегувати іншим RBridges роботу з інкапсуляції/деінкапсуляції пакетів з певним VLAN. Тим самим R2 інкапсулює пакети з VLANx, R3 з VLANy та R1 з VLANz.

Розробка структурної схеми

Технологія TRILL визначена в серії документів організації IETF (RFC 5556, 6325, 6327, 6349), але деякі механізми перебувають тільки в стадії розгляду. Часто неї називають маршрутизацією на рівні L2. Як відомо, класична маршрутизація виконується на підставі інформації рівня L3, при цьому рішення про вибір маршруту здійснюється за результатами

обчислення найкоротшого шляху. TRILL реалізує схожу логіку, але тільки не для IP-, а для MAC-адрес. Не дивно, що «мовою» TRILL підтримуючу цю технологію комутатори називаються маршрутизуючими мостами, або RBridge.

Для обчислення найкращого шляху до пункту призначення комутатори RBridge використовують протокол IS-IS, заснований на відомому алгоритмі Shortest Path First (SPF). Комутатор, що перебуває на вході в хмару TRILL, за допомогою IS-IS відразу визначає 16-розрядний ідентифікатор комутатора на виході. Кожний наступний комутатор (транзитний вузол) у хмарі пересилає трафік на основі цього ідентифікатора, завдяки чому усередині хмари не потрібно підтримувати таблицю зовнішніх MAC-адрес. Вузли оперують дуже невеликим обсягом адресної інформації, що спрощує їхнє завдання, зокрема, по розподілі трафіку по множині шляхів. У технології TRILL вводиться такий важливий параметр, як «час життя» – Time To Live (TTL): при проходженні кадром кожного вузла в мережі TRILL значення цього параметра зменшується. Цей механізм відсутній у класичній технології Ethernet, що багато в чому і є причиною зациклення трафіку – без поля TTL кадр Ethernet може нескінченно довго «подорожувати» по мережі, якщо не досягне адресата.

У цей час кілька виробників при описі своїх рішень згадують про технологію TRILL. Зокрема, Cisco називає свою технологію FabricPath, підтримувану пристроями серій Nexus 5000 і 7000, сумісної з TRILL. Однак незалежні експерти відзначають ряд відступів від стандарту – зокрема, інший формат кадру, що використовується для передачі трафіку між комутаторами. Але оскільки Cisco бере активну участь у триваючій стандартизації TRILL, висока ймовірність, що фірмові функції згодом стануть частиною стандартів. Властиво, таке вже багаторазово відбувалося при формуванні стандартів на інші мережні технології.

На рисунку 1 наведена структурна схема системи у вигляді ЦОД, у якому застосовується комбінація технологій Cisco FabricPath і FEX. Sxxx – це номери (ідентифікатори) комутаторів, використовуваних для доставки кадру усередині мережі FabricPath. Так, у кадр, відправлений вузлом з MAC-Адресою А вузлу з MAC адресом С, на вході в мережу FabricPath додається заголовок, де як номер вихідного комутатора вказується S300, і подальша передача до виходу з мережі FabricPath буде здійснюватися на підставі цього номера.

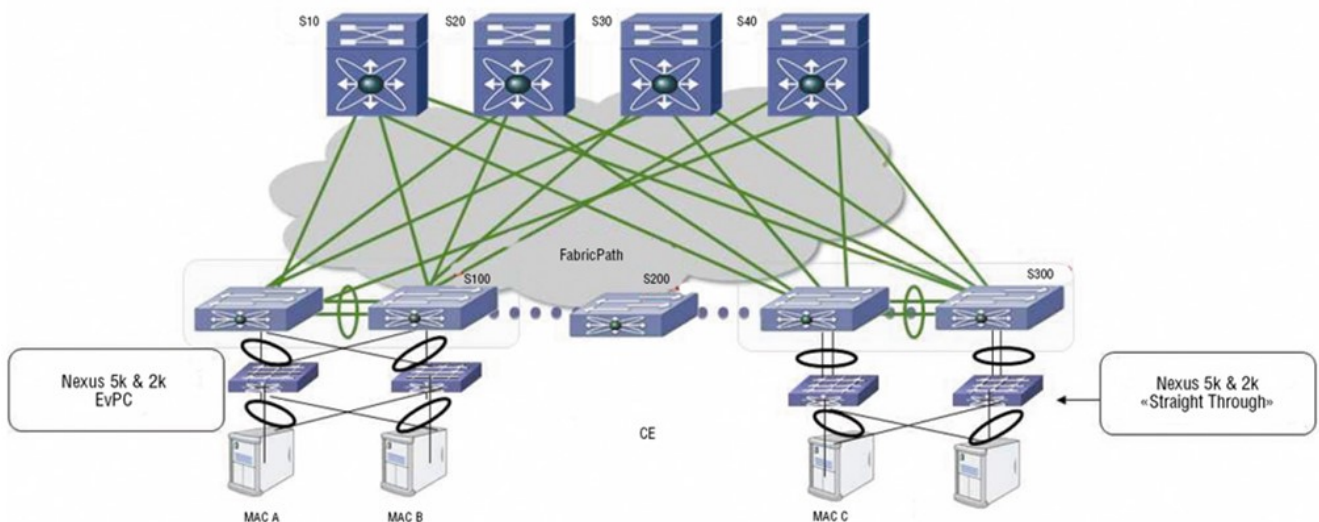


Рисунок 1 – Структурна схема системи

Показані на схемі S100 і S300 – це так звані емульовані комутатори (або домени vPC+), тобто пари комутаторів, підключення до яких здійснюється за технологією Multi-Chassis PortChannel. Кожний з комутаторів у парі має також свій власний ідентифікатор FabricPath (скажемо, S101 і S102, S301 і S302), а емульований комутатор з погляду логічної топології FabricPath (як вона видна в IS-IS) виглядає як такий, що знаходиться «за ними»: S100 досяжний через S101 і S102, а S300 – через S301 і S302. Тим самим пристрої,

підключені до правого за схемою парі через канали vPC+ (безпосередньо або, як на схемі, через FEX), виявляються досяжні з «рівною вартістю» через S301 і S302, що забезпечує розподіл навантаження між всіма оптимальними каналами. На схемі також зазначені два варіанти підключення виносів FEX – наскрізне (Straight-Through) і EvPC. Оскільки винос FEX – це «продовження» головного пристрою, найбільш простий варіант – підключення FEX тільки до одного «материнського» комутатору. У цьому випадку все настроювання й комутація здійснюється на одному комутаторі, а для резервування на випадок його відмови від серверів організуються канали vPC до виносів FEX, підключених до різних комутаторів у парі vPC. Такий варіант історично називається Straight-Through. Альтернативний, більше складний варіант – підключення FEX відразу до двох головних комутаторів. У цьому випадку комутація відбувається відразу на обох за рахунок організації підключень vPC від FEX до пари комутаторів, а узгодження настроювань для портів FEX здійснюється, наприклад, за допомогою автоматичної синхронізації конфігурацій. У такій схемі можуть використовуватися підключення vPC і до серверів, що дозволяє говорити про дворівневий vPC – від комутаторів до FEX і від FEX до серверів. Дана схема одержала назву Enhanced VPC (EvPC). Але повернемося до реалізацій технології TRILL. Вона покладена й в основу рішення Virtual Cluster Switching – «фабрики» Ethernet, розробленою компанією Brocade. Правда, замість протоколу IS-IS у рішенні компанії використовується протокол Fabric Shortest Path First (FSPF), запозичений з миру Fibre Channel. Як указують фахівці компанії, протокол FSPF дозволяє кожному комутатору VCS одночасно «бачити» всі вхідні в «фабрику» пристрою й вибирати маршрути з урахуванням стану всієї топології. Комутація трафіку між двома кінцевими пристроями у фабриці здійснюється в режимі балансування навантаження, при якому використовуються всі можливі еквівалентні шляхи з однаковими мінімальними вагами між кінцевими комутаторами. Фізичні канали Ethernet, що зв'язують два суміжних комутатори в Ethernet фабриці, автоматично поєднуються в одну логічну групу Brocade Fabric Trunk.

Восени 2014 року Brocade представила VDX 8770 – перший модульний комутатор у лінійці пристроїв VDX, призначених для побудови Ethernet-фабрик (до цього будівельникам таких «фабрик» були доступні тільки пристрої з фіксованою конфігурацією). Представлений комутатор істотно збільшує масштабованість і продуктивність Ethernet-фабрики, у якій може налічуватися більше 8000 портів. Як повідомляють у компанії, рішення VDX зараз застосовуються в більш ніж 700 інсталяцій по усьому світі.

Висновки. У статті теоретичне узагальнення й рішення наукового завдання дослідження методів управління маршрутизацією у центрах обробки даних за технологією TRILL. Рішення даного завдання полягало у вирішенні наступних задач: Був проведений огляд існуючих систем управління маршрутизацією у центрах обробки даних за технологією TRILL; Досліджена система управління маршрутизацією у центрах обробки даних за технологією TRILL; На основі отриманих результатів досліджень створена програмна реалізація системи управління маршрутизацією у центрах обробки даних за технологією TRILL. Розроблені під час виконання випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти алгоритми дозволяють успішно вирішувати завдання управління маршрутизацією у центрах обробки даних за технологією TRILL. 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., 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.
2. 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.

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. 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.
5. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Kuznetsova T. «Non-binary constant weight coding technique». CEUR Workshop Proceedings. Volume 2740, 2020, Pages 102-114.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. Аль-Мудхафар Акіл Абдулхусейн 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.