

УДК 004

Є.Ключкін, магістр гр. КІ-22М-2

Центральноукраїнський національний технічний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ РОЗШИРЕНОГО НАБОРУ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СЕРВІСІВ RCS НА МОБІЛЬНИХ ПРИСТРОЯХ

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

**Постановка проблеми.** З поширенням смартфонів відео стає наступним логічним кроком в еволюції мобільних сервісів. Однак для дійсно широкого поширення відео на мобільних пристроях треба буде розв'язати безліч проблем самого різного характеру. Уже зараз на відео доводиться половина мобільного трафіку, а до 2025 року, за прогнозом Cisco, його частка складе як мінімум дві третини. При цьому, згідно Cisco Visual Networking Index, обсяг переданих відеоданих буде рости швидше, ніж всі інші види мобільного трафіку – на 75% щорічно.

Як і будь-який прогноз, наведені цифри варто сприймати критично. Так, в 2010 році Cisco уже пророкувала досягнення вищезгаданого рубежу – дві третини від усього мобільного трафіку відео повинне було скласти в 2022 році, але, як бачимо, цю дату довелося скорегувати й перенести на більше пізній строк. Та й у цілому обсяг переданих даних росте не так швидко, як очікувалося. Наприклад, замість очікуваних 118% його ріст у США в 2023 році склав 64%. І всі такі темпи росту досить високі, а користувачі, як свідчать самі різні опитування, проявляють зацікавленість у застосуванні відеододатків. За даними дослідження Rovi's Consumer Study Survey, оприлюдненого в ході проведення Mobile World Congress 2023 у Барселоні, європейські користувачі планшетів і смартфонів дивляться потокове відео два-три рази в тиждень, при цьому середня тривалість сеансу становить 30 хв. Однак для дійсно широкого поширення відео на мобільних пристроях треба буде розв'язати безліч проблем самого різного порядку: від виділення спектра частот до монетизації сервісів, від оптимізації доставки контенту до забезпечення сумісності.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** При аналізі останніх досліджень і публікацій [1-10] було виявлено певні прогалини у забезпеченні системи розширеного набору телекомунікаційних сервісів rcs на мобільних пристроях.

**Мета й завдання дослідження.** Метою роботи є дослідження та програмна реалізація системи розширеного набору телекомунікаційних сервісів RCS на мобільних пристроях.

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

– Огляд існуючих систем розширеного набору телекомунікаційних сервісів RCS на мобільних пристроях.

– Дослідження системи розширеного набору телекомунікаційних сервісів RCS на мобільних пристроях.

– Програмна реалізація системи розширеного набору телекомунікаційних сервісів RCS на мобільних пристроях.

*Об'єктом дослідження є процес розширеного набору телекомунікаційних сервісів RCS на мобільних пристроях.*

*Предметом дослідження є методи розширеного набору телекомунікаційних сервісів RCS на мобільних пристроях.*

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

**Виклад основного матеріалу.** Основною метою концепції «розширених комунікацій» RCS (Rich Communication Services), що просувається Асоціацією GSMA, є вивід операторами мобільного зв'язку на ринок мультимедійних послуг на основі протоколу SIP. Міжоператорські послуги RCS розвиваються під брендом JOYN як альтернатива сервісам IP-комунікацій, які пропонують сторонні компанії (OTT) і «ведуть» істотну частину доходів від базових послуг (голос і передача повідомлень) у традиційних операторів. Так, по оцінці Informa Telecoms & Media, сукупне зниження доходів стільникових операторів від використання їхніми абонентами сторонніх IP-сервісів у Західній і Східній Європі, досягло в 2023 р. 3,9 і 1,6%, відповідно.

Концепція RCS з'явилася ще в 2008 р., перші пілотні проекти були випробувані в 2010 р., однак комерційний запуск послуг відбувся тільки до кінця 2014 р. До березня 2014 р. проект JOYN запустили 9 операторів в 5 країнах.

#### **Набір сервісів**

Як планується, передплатникам RCS-послуг буде доступний наступний набір сервісів (Список потенційно можливих послуг, не є обов'язковим для всіх мереж):

– розширена телефонна книга з деталізованою інформацією про контакт (Rich Address Book);

– розширений функціонал сервісу передачі повідомлень (Rich Messaging) – містить у собі службу миттєвих повідомлень (IM, instant messaging), чат з декількома користувачами одночасно, історію переписки, можливість обміну документами, фото- і відеоконтент;

– розширений функціонал голосових викликів (Rich Calls), що дозволяє абонентам під час голосового дзвінка ділитися мультимедійним контентом (у тому числі доступна опція «see what I see» для обміну навколишнього відеоряду), робити відеодзвінки (у тому числі проводити відеоконференцзв'язок) та ін.;

– статус готовності абонента до комунікацій (Presence);

– SNS Services (Social Network Services) – агрегування інформації, яка надходить від соціальних мереж;

– можливість бачити властивості мережі співрозмовника (які саме опції можуть бути їм підтримані – наприклад, можливість передачі відео буде доступна тільки при роботі в мережі 3G або 4G).

#### **Пристрою з підтримкою RCS**

У якості передвстановленого додатку RCS є в телефонах HTC, Huawei, LG, Nokia, Samsung, Sony. Також про наміри почати виробництво мобільних пристроїв, що підтримують RCS, заявили компанії RIM (Blackberry), Motorola, Panasonic і ZTE. Крім того, завантажувемі додатка RCS підтримуються смартфонами iPhone (починаючи з 4-й версії) і планшетами iPad.

Додаток JOYN також може бути завантажено з Android Market або з Apple Store. Постачальниками додатків виступають 6 компаній: всі вони розробляють додатка RCS для ОС Android, і половина з них – також для iOS.

## RCS і IMS

Асоціація GSMA активно працює з операторами зв'язку, роз'яснюючи переваги наявності IMS-мережі для розгортання послуг RCS і VoLTE. Останні можуть пропонуватися як окремо (RCS можуть бути реалізовані на будь-яких мережах поза залежністю від наявності/відсутності LTE-мережі), так і спільно. RCS є міжоператорською послугою: компанії-провайдери послуг забезпечують безшовне з'єднання в мережах різних операторів.

Незважаючи на те, що специфікації RCS вимагають розгортання IMS-мережі (що є комплексним і витратним процесом), існують операторські рішення для забезпечення RCS-послуг поза залежністю від того, володіє оператор платформою IMS чи ні. Дані пропозиції з'явилися на ринку вже в 2010 р., у тому ж році була запущена перша пілотна RCS-послуга. Завдяки таким рішенням оператор має можливість швидко вивести послугу на ринок – приблизно протягом 10 тижнів після придбання відповідного встаткування.

### Поширення RCS (JOYN) у світі

Послуги RCS запущені в 5 країнах, найбільше поширення вони одержали в Іспанії й Південній Кореї – у кожній із цих країн по трьох оператора забезпечують міжоператорський сервіс RCS. До середини лютого 2014 р. (50 днів в експлуатації) кількість передплатників JOYN.T південнокорейського оператора SK Telecom, за даними компанії, досягло 1 млн. Під час тестового періоду, до кінця травня 2014 р., користування послугами RCS було безкоштовним. Анонсуєма вартість послуг у довгостроковому плані: вартість передачі повідомлення – \$0,02, відеодзвінок – \$0,03 за хвилину. При цьому оператори відзначають, що споконвічно сервіс не буде приносити прибуток. Основним конкурентом RCS у Кореї є Kakao Talk – мобільний додаток, що використовують як мінімум 50 млн корейських абонентів.

Американський оператор MetroPCS крім стандартного пакета послуг пропонує голосові дзвінки поперх Wi-Fi (Voice over Wi-Fi) і відеодзвінки (Video calling). Для забезпечення росту абонентської бази оператор планує через спеціальний додаток забезпечити можливість запрошувати в мережу контакти з адресної книги абонента, які обслуговуються в мережах інших операторів Канади, Мексики й США.

До серпня 2014 р. JOYN був доступний безкоштовно для всіх абонентів Deutsche Telekom у Німеччині, що використовують передоплатну систему або контракт із фіксованими умовами.

На момент написання звіту практично всі оператори, що запустили RCS, надавали сервіс у безкоштовному або умовно-безкоштовному режимі. Відповідь на питання про те, наскільки буде успішний проект JOYN з економічної точки зору, можна буде довідатися після появи перших підсумків його реалізації. На сучасний момент найбільших успіхів по наборі абонентів RCS досяг південнокорейський оператор SK Telecom (близько 1 млн).

### Бізнес-модель і переваги RCS

Можна позначити кілька джерел генерування нових доходів операторів і скорочення витрат:

- Завдяки тому, що послуга RCS є міжоператорський, значно скорочуються витрати на маркетинг послуги (по суті, ним займається асоціація GSMA).

- Послуги RCS дозволяють еволюціонувати мережам оператора – для надання послуг RCS впровадження IMS-платформи не є обов'язковим, однак перехід до даних послуг може стати першим кроком у розвитку IMS-мережі.

- Можливість створення нових видів послуг на базі платформи RCS. Прикладами є додатки для спільного редагування зображень, конференц-дзвінків (до 10 користувачів одночасно) і т.п.

Очевидно, що далеко не всі користувачі готові платити за RCS-послугу. Якимось проміжним варіантом є модель Freemium, в основі якої – безкоштовна пропозиція самого сервісу, його опцій – за гроші; прикладом може бути безкоштовний продукт із відображенням рекламних оголошень.

Збільшення доходів операторів і/або зниження витрат у рамках проекту JOYN носять довгостроковий характер. У короткостроковому періоді послуга RCS, швидше за все, буде збитковою – позначається технологічна складність і тривалість впровадження IMS-мережі як ядра платформи для надання RCS-послуг, а також конкуренція з боку OTT-сервісів.

Основними перевагами проекту JOYN у порівнянні з OTT-сервісами є:

1. Надання послуг у рамках єдиного стандарту й взаємопов'язаних мереж. RCS дозволяє працювати в різних мережах і на різних пристроях. Така інтероперабельність OTT-сервісам недоступна: не можна, наприклад, відправити повідомлення з Skype на Windows Messenger.

2. Наявність унікального номера абонента (MSISDN). Унікальний номер абонента побудований по єдиному для операторів усього миру стандарту E.164. Відповідно, стандарт RCS-е дозволяє користувачеві створити персональне ком'юніті, використовуючи свій глобальний ідентифікаційний номер (global user ID), тобто номер телефону.

3. Труднощі зі створенням моделі монетизації OTT-сервісів. Незважаючи на те, що, по деяких прогнозах, до 2017 р. число мобільних користувачів OTT-послуг наблизиться до 1 млрд, такі сервіси як і раніше є слабо монетизованими. Багато передплатників OTT-послуг (Skype і т.п.) споконвічно не планують платити за них.

Основною можливістю в рамках моделі RCS є розвиток міжоператорського підходу – саме він дозволяє збільшувати чисельність користувачів послуги. Основними погрозами є незатребуваність RCS і відтік абонентів у сегмент безкоштовних OTT-послуг, і відсутність апробованої бізнес-моделі монетизації RCS, а також розвиток власних послуг під брендом оператора зв'язку (RCS-like).

Основними факторами, що гальмують впровадження RCS, є:

- технологічна складність рішення;
- недостатньо широкий ряд мобільних пристроїв з підтримкою RCS;
- залежність від дорогого ядра мережі IMS;
- споживчі переваги – далеко не кожний користувач безкоштовних OTT-послуг готовий платити за RCS.

### **Основні тенденції й перспективи розвитку й поширення RCS**

Можна виділити наступні фактори можливого успіху впровадження RCS, які допоможуть поширити цю послугу на масовий ринок і забезпечити висока якість обслуговування:

- тісна інтеграція послуг в адресній книзі й простота використання;
- міжоператорський підхід;
- стандартизація технічних умов, поділювана всіма гравцями галузі;
- зростаюча популярність відеодзвінків;
- зсув попиту у бік комунікацій у соціальних мережах;
- швидкість розгортання мереж IMS;
- поширення хмарних рішень, які дозволяють розвивати послуги RCS при відсутності IMS-мережі;
- розвиток ринку мобільних пристроїв, що підтримують мережу LTE.

Ринки, на яких послуга RCS уже представлена, характеризуються високою швидкістю впровадження LTE-мереж, а також гарною переговорною здатністю операторів – послуга з'являється відразу в декількох провайдерів, що дозволяє реалізовувати міжоператорський підхід. Відповідно до даної тенденції цілком імовірний послідовний запуск RCS операторами тих країн, де послуга тільки з'явилася (США, Німеччина) з розширенням її охопту на всі країни присутності її оператора, що запустив.

На ринках, що розвиваються, перспективи RCS менш очевидні. Основні стримуючі фактори – це низьке проникнення смартфонів і слабе покриття мереж LTE.

За прогнозами Infonetics, мобільні оператори по усьому світі за період 2024-2026 рр. сумарно одержать \$1,6 млрд за надання послуг RCS. В 2024 р. користувачами послуги стануть порядку 15 млн чоловік (Infonetics), до 2026 р., за прогнозами Juniper Research, цей

показник збільшиться до 74 млн., тобто проникнення RCS складе менш 1% від абонентської бази мобільного зв'язку.

Основною проблемою при ухваленні рішення про запуск (для тих операторів, які сумніваються в затребуваності послуги) є відсутність даних про кількість користувачів і доходів.

### **Розробка структурної схеми**

У даній роботі у якості RCS-послуг обрана IP-телефонія.

На рисунку 1 зображена структурна схема розробленого програмного забезпечення розширеного набору телекомунікаційних сервісів RCS на мобільних пристроях.

Розглянемо основні структурні елементи, які застосовані у розробленій схемі розширеного набору телекомунікаційних сервісів RCS на мобільних пристроях:

- GateKeeper – сервер, що перетворює імена користувачів у динамічні адреси IP.
- ТфОП – телефонний оператор, який надає послуги традиційного телефонного зв'язку від шлюзу до телефонної станції.

- IP-phone – спеціальний телефон, який можливо під'єднати до IP-мережі напряму. Повнофункціональний IP-телефон дає можливість користувачеві ініціювати й приймати дзвінки, взаємодіючи з телекомунікаційною VoIP-системою або інфраструктурою постачальника послуг IP-телефонії

- Soft phone – програмне забезпечення, яке встановлене на ЕОМ та дозволяє спілкуватися використовуючи мікрофон та WEB-камеру, під'єднані до ЕОМ.

- Analog phone – звичайний телефон.

- Gateway – комп'ютери з'єднання, “перекладачі”. Вони використовуються для того, щоб утворити з'єднання зі звичайною телефонною мережею. Ці Gateways з'єднані як з комп'ютерною мережею, так і з нормальною телефонною мережею й передають запити в обоє напрямків. При цьому IP-пакети з однієї сторони перетворюються в цифровий потік даних.

- PBX – внутрителекомунікаційна телефонна станція.

- VoIP provider – провайдер, який надає послуги VoIP-зв'язку.

- VoIP gateway – це gateway, який з'єднує аналогові телефони з VoIP-маршрутизатором.

- VoIP router – маршрутизатор VoIP-трафіку. Він направляє IP-пакети до їхньої кінцевої точки, почасти різними шляхами.

- Варіант телефонної системи – телефонна мережа, що охоплює абонентів, що перебувають в одному будинку або групі близько розташованих будинків. У цьому випадку мережна інфраструктура, як правило, представляє із себе локальну/кампусну мережу на базі технологій Ethernet/Fast Ethernet/Gigabit Ethernet/ Wi-Fi, у рамках якої можуть бути розміщені як абонентські телефони й персональні комп'ютери, так і керуючого пристрою телефонної мережі.

Основним пристроєм для керування мережею IP-телефонії є сервер керування дзвінками. Один сервер може підтримувати велику кількість IP-телефонів. Їхнє число залежить від моделі сервера, на якому встановлене програмне забезпечення. З метою масштабування системи й для забезпечення відказостійкості сервери можуть бути об'єднані, що збільшує число телефонів, що приєднуються одночасно. Користувальницькі IP-телефони, так само як і сервери, підключаються до комутаторів локальної/кампусної мережі; при цьому можливо використання технологій, наприклад, Power over Ethernet, що забезпечують подачу електроживлення для IP-телефонів від комутаторів Ethernet. Багато моделей телефонів оснащені убудованим двопортовим комутатором Ethernet, що дозволяє підключити персональний комп'ютер абонента до телекомунікаційної мережі.

Також у межах локальної мережі розміщуються сервери додатків, таких як система голосової пошти або система інтерактивної мовної взаємодії, які забезпечують додаткові сервіси для абонентів системи.

Для підключення системи IP-телефонії до телефонної мережі загального користування використовуються голосові шлюзи на базі маршрутизаторів, при цьому вибір конкретної моделі шлюзу залежить від типу й кількості інтерфейсів, застосовуваних для стикування із ТфОП (можливе використання як аналогових, так і цифрових інтерфейсів). Шлюзи також потрібні якщо буде потреба підключення системи IP-телефонії до встановленого раніше офісної АТМ.

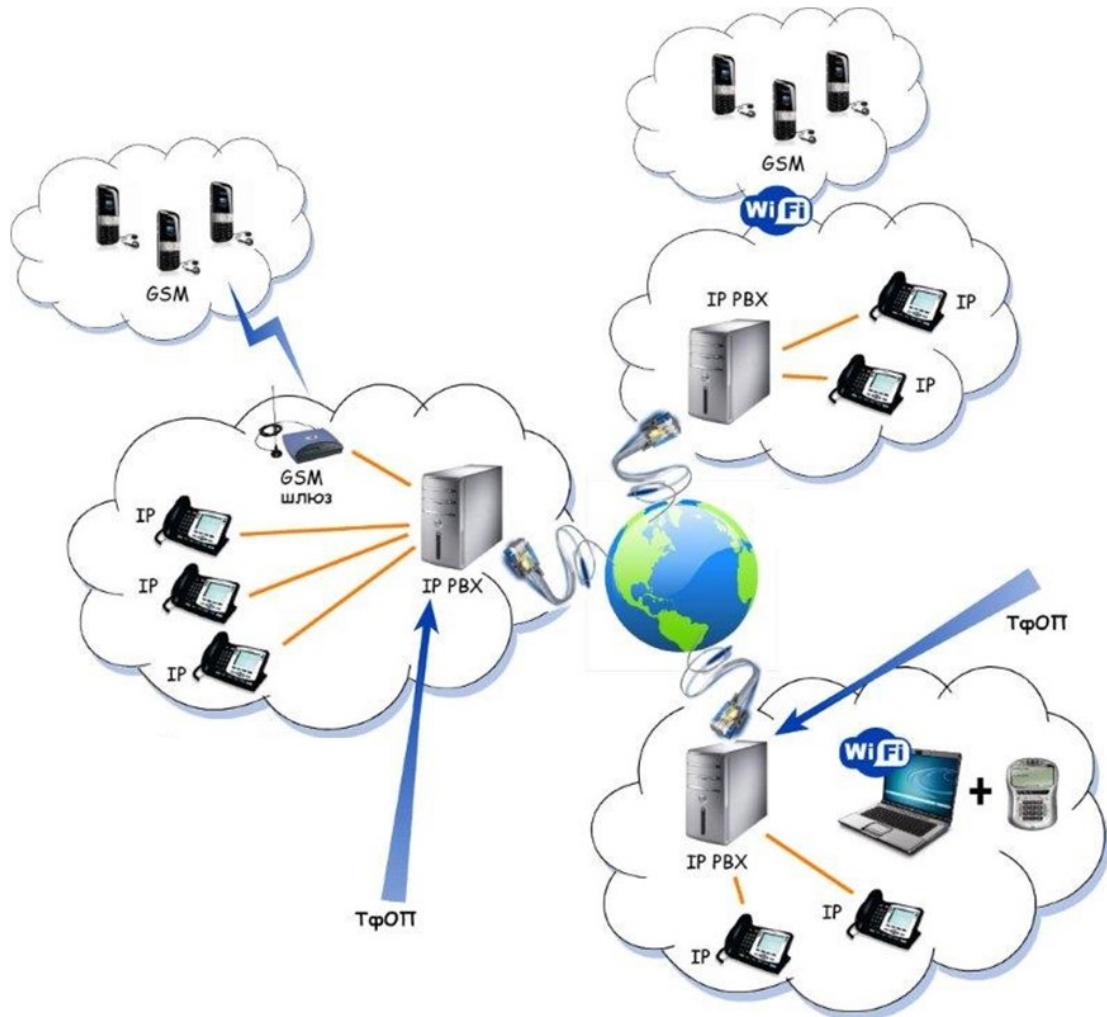


Рисунок 1 – Структурна схема розробленої системи

Основні характеристики моделі побудови мережі IP-телефонії для одного будинку або кампуса (декількох будинків, об'єднаних високошвидкісною локальною мережею):

- для організації системи IP-телефонії може використовуватися D-Link DVX-7090, що виконує функції голосового маршрутизатора й рекомендується для застосування в мережах середніх і великих офісів;
- для подальшого масштабування мережі можливе використання декількох подібних пристроїв;
- для підключення до телефонної мережі загального користування (ТфОП) аналогових телефонів і факсових апаратів, стикування з існуючими УАТМ застосовуються голосові шлюзи;
- ресурси голосових сервісних модулів використовуються для організації аудіоконференцій;
- для забезпечення якісної роботи різних додатків рекомендується застосування комутаторів, що підтримують необхідні засоби забезпечення якості сервісу (QoS).

**Висновки.** У статті наведені теоретичне узагальнення й рішення наукового завдання дослідження методів розширеного набору телекомунікаційних сервісів RCS на мобільних пристроях. Рішення даного завдання полягало у вирішенні наступних задач: Був проведений огляд існуючих систем розширеного набору телекомунікаційних сервісів RCS на мобільних пристроях; Досліджена система розширеного набору телекомунікаційних сервісів RCS на мобільних пристроях; На основі отриманих результатів досліджень створена програмна реалізація системи розширеного набору телекомунікаційних сервісів RCS на мобільних пристроях. Розроблені під час виконання випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти алгоритми дозволяють успішно вирішувати завдання розширеного набору телекомунікаційних сервісів RCS на мобільних пристроях. 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. Smirnov, O., Neskoriadiya, T., Fedorov, E., Rudakov, K., Neskoriadiya, A. «Method Detection Audit Data Anomalies on Basis Restricted Cauchy Machine» *CEUR Workshop Proceedings*, Volume 3187, 2022,
5. Smirnov O., Smirnova T., Anas M. Al-Oraiqat, Drieiev O., Polishchuk L., Sheroz Khan, Yassin M. Y. Hasan, Aladdein M. Amro, Hazim S. AlRawashdeh «Method for Determining Treated Metal Surface Quality Using Computer Vision Technology». *Sensors (Basel, Switzerland)* Volume 22, Issue 16, 6223, 2022.
6. Smirnov O., Kuznetsov A., Kryvinska N., Kiian A., Kuznetsova K. «Full Non-Binary Constant-Weight Codes». *SN Computer Science*, Vol 2, 337, 2021. <https://doi.org/10.1007/s42979-021-00739-w>
7. Smirnov O., Kuznetsov A., Zhora V., Onikiychuk A., Pieshkova O. «Hiding Messages in Audio Files Using Direct Spread Spectrum». *11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS 2021, Cracow, Poland, 22-25 September 2021*. P. 414-418.
8. Smirnov O., Kuznetsov A., Lokotkova I., Kuznetsova T., Florov S., Lebid O. «Using Orthogonal Signals to Hide Information in Images». *4 IEEE International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT) - 2021, Lviv, Ukraine, September 21-25, 2021*. P. 255-260.
9. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Potii, O., Poluyanenko, N., Stelnyk, I., Mialkovsky, D. «Combining and filtering functions in the framework of nonlinear-feedback shift register». *International Journal of Computing*; 2020, Volume 19, Issue 2 – Research Institute for Intelligent Computer Systems – 2020. – P. 247-256.
10. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Kuznetsova T. «Non-binary constant weight coding technique». *CEUR Workshop Proceedings*. Volume 2740, 2020, Pages 102-114.
11. 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.
12. Smirnov O., Kuznetsov A., Kovalchuk D., Kuznetsova T. «New technique for data hiding in cover images using adaptively generated pseudorandom sequences». *CEUR Workshop Proceedings* Volume 2654, 2020, Pages 1-14.
13. Smirnov O., Kuznetsov A., Onikiychuk A., Makushenko T., Anisimova O., Arischenko A. «Adaptive pseudorandom sequence generation for spread spectrum image steganography». *2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*, Ukraine, Kyiv, May 14-18. 2020. P. 161-165.
14. 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.
15. 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.
16. 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.

17. 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.
18. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Gorbacheva, L., Babenko, V., «Hiding data in images using a pseudo-random sequence», CEUR Workshop Proceedings Volume 2608, 2020, Pages 646-660.
19. Zhurakovskiy, B., Tsopa, N., Batrak, Y., Odarchenko, R., Smirnova, T «Comparative analysis of modern formats of lossy audio compression». Workshop Proceedings, 2020, 2654, стр. 315-327.
20. 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.
21. 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.