

DOI 10.20535/2411-1031.2023.11.1.283922

УДК 621.396

ДМИТРО МІНОЧКИН

## **РОЗПОДІЛЕНІ ОБЧИСЛЕННЯ В БЕЗПРОВОДОВИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ: ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ПЕРСПЕКТИВИ**

Дослідження присвячене аналізу застосування технологій розподілених обчислень в безпроводових телекомунікаційних системах. У роботі розглядається концепція хмарних мереж радіодоступу (C-RAN) і їх використання для покращення продуктивності і зниження витрат операторів зв'язку. Розглядається логічний взаємозв'язок мобільних пристроїв, хмари безпроводової мережі і внутрішніх серверів, а також роль спліт-ТСР-проксі в розподіленні з'єднань та підтримці постійного зв'язку між користувачем і внутрішнім сервером хмари. Зазначається, що динамічні операції хмари безпроводової мережі, такі як конфігурація топології і розподіл швидкості передачі даних, забезпечують краще обслуговування на верхньому рівні. Підкреслено важливість знання стану безпроводового каналу для успішної реалізації операцій в C-RAN. Відзначається, що використання розподілених обчислень в безпроводових системах дозволяє зменшити витрати на розгортання та підтримку, забезпечуючи ефективну передачу даних і покращену продуктивність. Отримані результати свідчать про можливість успішного використання технологій розподілених обчислень у безпроводових телекомунікаційних системах. Це відкриває перспективи для операторів зв'язку щодо зниження витрат і покращення якості обслуговування. Дослідження є актуальним у контексті постійного розвитку безпроводових технологій і має потенціал для подальших досліджень і вдосконалення безпроводових телекомунікаційних систем. Майбутні роботи можуть зосередитися на розширенні обсягу досліджень, включаючи більш широкий спектр технологій та алгоритмів, які можуть бути використані для оптимізації роботи хмарних мереж радіодоступу. Крім того, можна розглянути вплив використання технологій розподілених обчислень на інші аспекти безпроводових систем, такі як безпека, керування ресурсами та масштабованість. Дослідження можуть також зосередитися на використанні інших протоколів і алгоритмів для розподілу обчислювальних завдань і оптимізації передачі даних.

**Ключові слова:** хмарні обчислення, розподілені системи, послуги як сервіс, безпроводові телекомунікаційні мережі.

**Постановка проблеми.** В останні роки, концепція «хмарних» обчислень отримала широке визнання у сфері комп'ютерних технологій. Технологія «хмарних» обчислень надає можливість задовольнити інформаційні потреби підприємства або окремого користувача через зовнішніх провайдерів. Основні принципи, на яких ґрунтуються «хмарні» обчислення, включають доступність через Інтернет, віртуалізацію, обчислення як сервіс та простоту з використанням стандартних протоколів.

Перш за все, доступність через Інтернет є ключовим аспектом хмарних обчислень. Це означає, що користувачі можуть легко отримувати доступ до своїх даних та виконувати обчислення незалежно від місця знаходження.

Другий принцип - віртуалізація - дозволяє розподіляти ресурси в хмарному середовищі. За допомогою віртуалізації, користувачі можуть отримати необхідну кількість обчислювальних ресурсів, таких як обсяг пам'яті, потужність процесора та дисковий простір. Цей процес прихований від користувача, оскільки розподіл ресурсів здійснюється за допомогою гіпервізорів, які оперують на апаратному рівні.

Третій принцип полягає в тому, що хмарні обчислення сприймаються як сервіс. Користувачі мають доступ до набору послуг, які надаються хмарним провайдером, без необхідності розуміння внутрішньої організації хмари. Це означає, що користувачам пропонуються готові рішення та функціонал, такі як зберігання даних, обробка, аналіз, а також розробка та виконання програмного забезпечення. Все це можна використовувати без необхідності володіти та управляти власною інфраструктурою.

Четвертий принцип - простота і стандартність - є ключовим для хмарних обчислень. При роботі з хмарними сервісами не потрібно створювати складні конфігураційні файли або займатися докладними налаштуваннями. Всі ресурси та функціонал хмари доступні за допомогою простих викликів API та стандартних протоколів, таких як REST. Це дозволяє виконувати операції над даними через HTTP-запити, забезпечуючи легку інтеграцію та взаємодію з хмарними сервісами.

Тому, важливо провести дослідження та розробку сучасних телекомунікаційних систем спеціального призначення з використанням розподілених обчислень. Розподілені обчислення в хмарному середовищі можуть забезпечити масштабованість, ефективне використання ресурсів та забезпечити високу доступність послуг.

**Аналіз останніх публікацій і напрямки вирішення завдання.** На сьогоднішній час значна кількість публікацій присвячена дослідженню використання «хмарних» обчислень, зокрема в телекомунікаційних системах.

В [1] розглядають мобільні хмарні обчислення як підхід, що дозволяє користувачам отримувати доступ до великої обчислювальної потужності та мережевих послуг через віддалену хмарну інфраструктуру, який, однак стикається з проблемами щодо підтримки інфраструктури та неоднорідності, включаючи обмежені ресурси, заряд акумулятора та комунікаційні можливості, які перешкоджають покращенню якості обслуговування. Робота [2] присвячена проблемі, з якою стикаються організації під час впровадження хмарних обчислень. Автори надають керівні принципи щодо вибору відповідної моделі використання хмарних обчислень. В [3] розглядаються потенційні переваги централізованої архітектури для обробки сигналів у мережах радіодоступу. Використовуючи спільні обчислювальні ресурси в центральному розташуванні, автори демонструють потенційну загальну економію обчислювальних ресурсів. В [4] обговорюються переваги хмарних обчислень та їх поєднання з мобільними та інтернет-технологіями. Автори підкреслюють потребу в додаткових дослідженнях захищених каналів передачі у мобільних хмарних обчисленнях. В роботі [5] розглядається робота TCP проксі-сервера із розділеним з'єднанням, розгорнутого в мережах LTE, з метою покращення якості роботи кінцевих користувачів шляхом оптимізації послуг через інфраструктуру LTE.

Пропонується розвиток та узагальнення результатів, отриманих у існуючих дослідженнях.

**Метою статті є** аналіз можливостей та областей застосування розподілених обчислень, визначити потенційні переваги і виклики, які вони можуть принести в сучасні телекомунікаційні системи.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Одним з потенційних застосувань розподілених обчислень в телекомунікаційних системах є оптимізація обробки великих обсягів даних. Великі телекомунікаційні компанії збирають велику кількість даних про споживачів, мережі та трафік. Використання розподілених обчислень дозволить їм швидко та ефективно обробляти ці дані, аналізувати їх та отримувати цінну інформацію для прийняття рішень щодо покращення мережевої інфраструктури та обслуговування клієнтів.

Ще одним застосуванням є покращення швидкості передачі даних. Завдяки розподіленим обчисленням, можна забезпечити розташування обчислювальних ресурсів ближче до країв мережі, де відбувається збір та обробка даних. Це дозволить зменшити затримки в передачі даних та підвищити швидкість обробки, що особливо важливо у вимогливих до пропускної здатності телекомунікаційних додатках, наприклад, відеоконференціях або стрімінгових сервісах.

Ефективне розподілення ресурсів є ще однією перевагою розподілених обчислень в телекомунікаційних системах. Завдяки цьому, ресурси можна динамічно виділяти та звільняти в залежності від потреб користувачів та навантаження мережі. Наприклад, у пікові години навантаження можна автоматично масштабувати ресурси, щоб забезпечити оптимальну продуктивність та задоволення потреб користувачів. Такий підхід дозволить забезпечити ефективність використання ресурсів та економію витрат на обладнання.

Забезпечення безпеки та конфіденційності даних є ще однією важливою областю застосування розподілених обчислень в телекомунікаційних системах. Завдяки централізованому управлінню хмарними ресурсами, можна впровадити різні рівні захисту даних, включаючи шифрування, механізми аутентифікації та авторизації. Це допоможе забезпечити безпеку передачі та збереження конфіденційної інформації в телекомунікаційних системах.

Загалом, розподілені обчислення в хмарних середовищах мають потенціал змінити парадигму телекомунікаційних систем і дослідження в цій області допоможуть побудувати майбутню інфраструктуру телекомунікацій, що відповідає зростаючим вимогам сучасного світу [1].

Велика кількість сервісів розглядаються як послуги у сфері хмарних технологій, серед них найважливіші такі [2]:

1. *Платформа як сервіс (PaaS)*: Ця послуга надає інтегровану платформу для розробки, тестування, розгортання та підтримки застосунків. В хмарі доступний набір програм, сервісів та бібліотек, які дозволяють розробляти власні застосунки. PaaS також може охоплювати окремі складові систем, такі як системи баз даних або комунікацій.

2. *Послуги інформаційної інфраструктури (IaaS)*: Ця послуга надає програмно-апаратні ресурси, які зазвичай об'єднані за допомогою віртуалізації. IaaS включає апаратне забезпечення (сервери, системи зберігання даних, клієнтські системи, мережне обладнання), операційні системи, системне програмне забезпечення та сполучне програмне забезпечення для управління апаратним і програмним забезпеченням.

3. *Послуги застосувань (SaaS)*: Ця послуга надає програмне забезпечення як сервіс. Користувачі можуть користуватися програмами, оплачуючи за використання протягом певного часу. Ця модель адресована кінцевим користувачам і дозволяє використовувати програмне забезпечення, таке як корпоративні системи, в режимі передплати.

Окрім основних послуг (PaaS, IaaS, SaaS), існують і додаткові сервіси, такі як “*робоче місце як сервіс*” (WaaS), “*апаратура як сервіс*” (HaaS), “*комунікація як сервіс*” (CaaS) та інші. WaaS надає можливість користувачам отримувати доступ до повного робочого середовища через хмарну інфраструктуру, що дозволяє працювати з будь-якого пристрою та місця. HaaS надає можливість користувачам отримувати доступ до апаратного забезпечення, такого як сервери, мережеве обладнання чи зберігання даних, як послуги замість придбання його на постійній основі. CaaS надає можливість користувачам отримувати доступ до комунікаційних сервісів, таких як електронна пошта, IP-телефонія, відеоконференції та інші, без необхідності утримувати власну інфраструктуру.

Застосування хмарних обчислень для розробки та експлуатації нового покоління мобільних безпроводових стільникових мереж може мати значні наслідки. Поєднання хмарних обчислень з мобільним середовищем призвело до виникнення нового терміну – “мобільні хмарні обчислення” (MCC – Mobile Cloud Computing). Це перспективна мобільна обчислювальна парадигма, яка має великий потенціал на ринку [3]. MCC використовує потужну обчислювальну платформу хмарних обчислень для подолання розриву між зростанням обчислювальних вимог та обмеженими ресурсами традиційних мобільних пристроїв щодо обчислень, зберігання даних та енергоефективності.

З іншого боку, використання потужних технологій хмарних обчислень може бути корисним для мереж радіодоступу (RAN), що привело до появи нової концепції хмарних мереж радіодоступу (C-RAN) [4]. У традиційних стільникових мережах обчислювальні ресурси для обробки сигналів знаходяться в кожному стільнику. Однак, у C-RAN ці обчислювальні ресурси централізовані в хмарному центрі з потужним пулом обчислювальних ресурсів.

Такий перехід від розподіленої до централізованої інфраструктури дозволяє зменшити операційні витрати за рахунок централізованого обслуговування, забезпечує краще балансування навантаження, підвищує продуктивність мережі завдяки передовим методикам координації обробки сигналів та знижує витрати енергії за рахунок ефективного використання ресурсів.

На рисунку 1 показана стільникова мережа наступного покоління, яка використовує технології MCC і C-RAN. У порівнянні з базовими станціями (BS) традиційних стільникових мереж, базові станції в C-RAN були спрощені, оскільки обробка сигналів і прийняття рішень в більшості випадків відбуваються в хмарному середовищі. BS підключені до хмари через опорні транспортні мережі. Для забезпечення передачі даних в умовах великих затримок використовується спліт-ТСР.

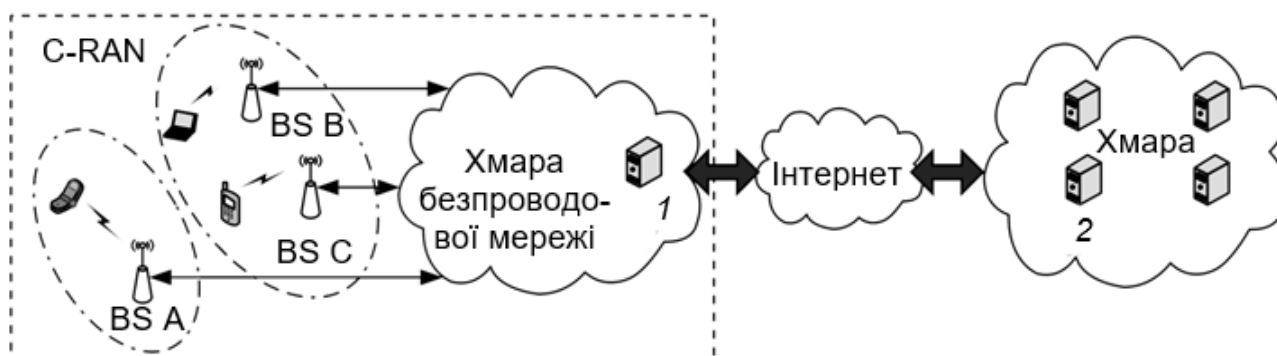


Рисунок 1 – Хмарна мережа радіодоступу в середовищі MCC:  
1 – спліт-ТСР проксі; 2 – внутрішній сервер

Зазвичай, спліт-ТСР використовується для вирішення проблем, пов'язаних з протоколом ТСР і великими значеннями часу проходження RTT. У системі супутникового зв'язку традиційно використовується проксі PEP (Performance Enhancing Proxy) з підтримкою спліт-ТСР для покращення продуктивності передачі ТСР через супутниковий ретранслятор. Кінцеві системи використовують стандартний протокол ТСР без будь-яких змін і не потребують інформації про існування проксі PEP між ними. Спліт-ТСР перехоплює ТСР-з'єднання від кінцевих систем і може обробити їх та замінити на свої власні з'єднання. Це дозволяє кінцевим системам працювати без змін і долати деякі проблеми з розмірами ТСР вікна, які на кінцевих системах можуть бути недостатньо широкими для супутникового зв'язку.

З архітектурної точки зору, необхідно мати спліт-ТСП проксі на межі хмари. Спліт-ТСП проксі-сервер може бути реалізований у шлюзі еволюції системної архітектури SAE-GW в LTE-системі. Такий проксі-сервер розташовується в SAE-GW і тунелює потоки даних користувача перед їхньою відправкою в Інтернет [5].

Спліт-ТСП-проксі виступає як проміжна точка для потоку ТСП. У системах МСС спліт-ТСП-проксі виконує функцію приховування безпроводових об'єктів від внутрішніх серверів. Він аналізує кожний сегмент, зберігає його і передає через іншу лінію зв'язку ТСП.

На рисунку 2 представлено логічний зв'язок між мобільними пристроями, хмарою безпроводової мережі та внутрішніми серверами. ТСП-потоки, що прокладаються через мобільну хмару, розпочинаються з мобільних пристроїв і направляються до внутрішніх серверів у хмарі. Спліт-ТСП-проксі, розташований у безпроводовій хмарі, розбиває з'єднання між мобільним користувачем та внутрішнім сервером на два з'єднання і забезпечує постійний зв'язок між собою та внутрішнім сервером. Тим часом, хмара безпроводової мережі виконує динамічні операції на безпроводових мережах, щоб забезпечити краще обслуговування на вищому рівні. Ці динамічні операції включають конфігурацію топології та розподіл швидкості передачі даних. Конфігурацією топології керують базові станції, які співпрацюють одна з одною. Наприклад, на першому малюнку базові станції В і С утворюють кластер для спільного обслуговування двох мобільних користувачів, тоді як базова станція А обслуговує інший кластер.

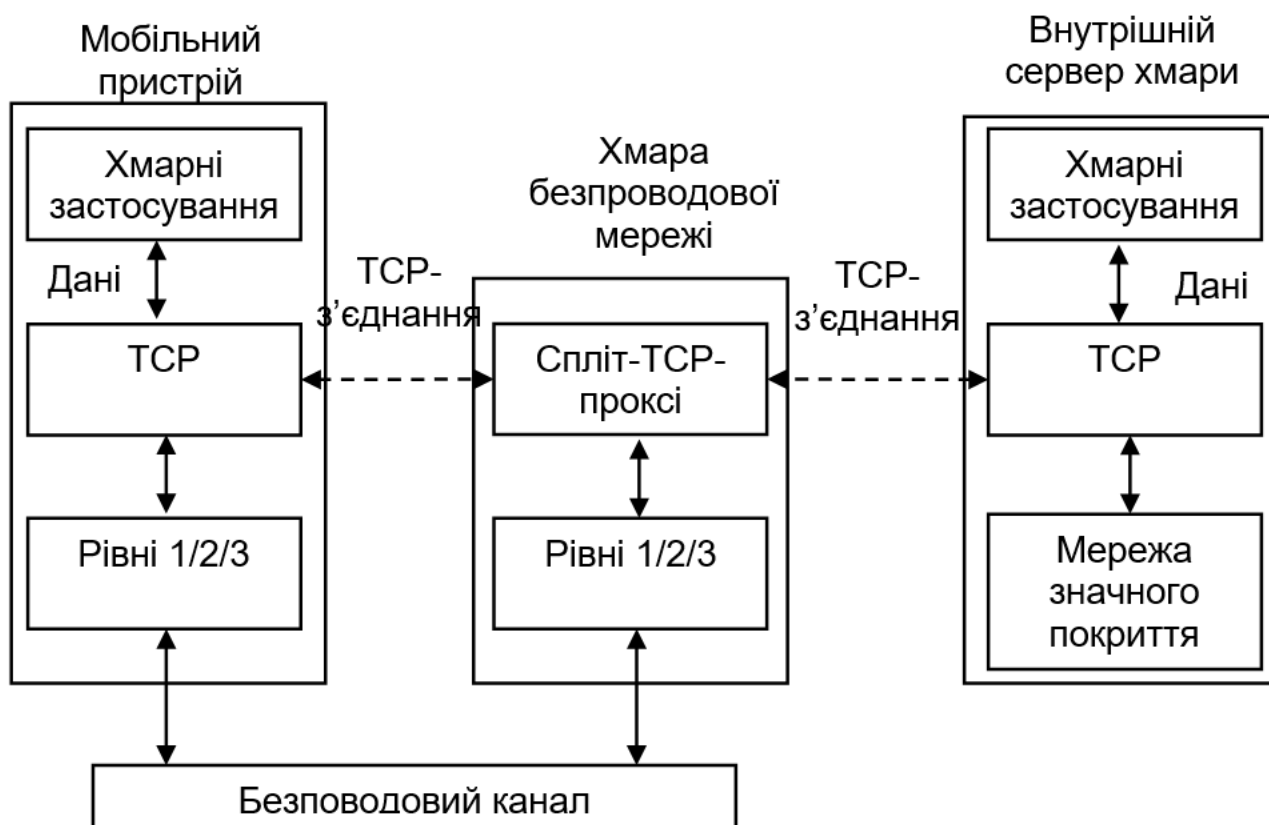


Рисунок 2 – Логічні стеки протоколів мережних об'єктів: центрів обробки даних, спліт-ТСП-проксі і мобільного користувача

Після створення кластерів у хмарі мережі потрібно визначити швидкості передачі даних, які мобільні користувачі можуть використовувати для передачі своїх даних. У межах кластера

сигнали обробляються спільно, що призводить до відсутності взаємного впливу між радіосигналами. Операції в рамках C-RAN передбачають наявність інформації про стан безпроводового каналу.

**Висновок.** Таким чином, проведений аналіз показав можливість використання розподілених обчислень для будівництва сучасних та високопродуктивних безпроводових телекомунікаційних систем спеціального призначення. Це дозволить знизити витрати на впровадження та підтримку таких систем.

Напрямом подальших досліджень є оптимізація обробки великих обсягів даних, покращення швидкості передачі даних, підвищення ефективності розподілу ресурсів та забезпечення безпеки та конфіденційності даних.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] R. Naik, M. Prasad, and B. Manjula, “Mobile cloud computing: challenges and issues for the next generation computing”, in *Proc. International Conference on Cloud Computing (ICCC2013)*, Valencia, Spain, 2013, pp. 23-32.
- [2] F. Wulf, T. Lindner, M. Westner, and S. Strahringer, “IaaS, PaaS, or SaaS? The why of cloud computing delivery model selection -vignettes on the post-adoption of cloud computing”, in *Proc. 54th Hawaii International Conference on System Sciences*, Kauai, Hawaii, USA, 2021, pp. 6285-6294, doi: <https://doi.org/10.24251/HICSS.2021.758>.
- [3] S. Bhaumik et al., “CloudIQ: a framework for processing base stations in a data center”, in *Proc. 18th annual international conference on Mobile computing and networking (Mobicom'12)*, Istanbul, Turkey, 2012, pp. 125-136, doi: <https://doi.org/10.1145/2348543.2348561>.
- [4] I. Odun-Ayo, N. Omoregbe, and B. Udemezue, “Cloud and mobile computing – issues and developments”, in *Proc. The world congress on engineering and computer science*, San Francisco, USA, 2018, vol. 1, pp. 363-368.
- [5] V. Farkas, B. Heder, and S. Novaczki, “A split connection TCP proxy in LTE networks”, in *Proc. 18th EUNICE/IFIP WG 6.2, 6.6 International Conference Information and Communication Technologies (EUNICE 2012)*, Budapest, Hungary, in vol. 7479 of *Lecture Notes in Computer Science*, Berlin, Heidelberg, Germany: Springer, 2012, pp. 263-74, doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-32808-4\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-642-32808-4_24).

Стаття надійшла до редакції 18.02.2023

### REFERENCE

- [1] R. Naik, M. Prasad, and B. Manjula, “Mobile cloud computing: challenges and issues for the next generation computing”, in *Proc. International Conference on Cloud Computing (ICCC2013)*, Valencia, Spain, 2013, pp. 23-32.
- [2] F. Wulf, T. Lindner, M. Westner, and S. Strahringer, “IaaS, PaaS, or SaaS? The why of cloud computing delivery model selection -vignettes on the post-adoption of cloud computing”, in *Proc. 54th Hawaii International Conference on System Sciences*, Kauai, Hawaii, USA, 2021, pp. 6285-6294, doi: <https://doi.org/10.24251/HICSS.2021.758>.
- [3] S. Bhaumik et al., “CloudIQ: a framework for processing base stations in a data center”, in *Proc. 18th annual international conference on Mobile computing and networking (Mobicom'12)*, Istanbul, Turkey, 2012, pp. 125-136, doi: <https://doi.org/10.1145/2348543.2348561>.

- [4] Odun-Ayo, N. Omoregbe, and B. Udemezue, “Cloud and mobile computing – issues and developments”, in *Proc. The world congress on engineering and computer science*, San Francisco, USA, 2018, vol. 1, pp. 363-368.
- [5] V. Farkas, B. Heder, and S. Novaczki, “A split connection TCP proxy in LTE networks”, in *Proc. 18th EUNICE/IFIP WG 6.2, 6.6 International Conference Information and Communication Technologies (EUNICE 2012)*, Budapest, Hungary, in *vol. 7479 of Lecture Notes in Computer Science*, Berlin, Heidelberg, Germany: Springer, 2012, pp. 263-74, doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-32808-4\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-642-32808-4_24).

DMYTRO MINOCHKIN

## **DISTRIBUTED COMPUTING IN SPECIAL PURPOSE WIRELESS TELECOMMUNICATION SYSTEMS: PERFORMANCE AND PROSPECTS**

The study is devoted to the analysis of the application of distributed computing technologies in wireless telecommunication systems. The paper considers the concept of cloud radio access networks (C-RAN) and their use to improve productivity and reduce costs of communication operators. The logical relationship of mobile devices, cloud wireless network and internal servers is considered, as well as the role of split-TCP-proxy in the distribution of connections and maintenance of constant communication between the user and the internal server of the cloud. It is noted that the dynamic operations of the wireless network cloud, such as topology configuration and data rate distribution, provide better service at the upper layer. The importance of knowing the state of the wireless channel for the successful implementation of operations in C-RAN is emphasized. It is noted that the use of distributed computing in wireless systems can reduce deployment and maintenance costs, providing efficient data transmission and improved performance. The obtained results indicate the possibility of successful use of distributed computing technologies in wireless telecommunication systems. This opens prospects for communication operators to reduce costs and improve the quality of service. The research is relevant in the context of the continuous development of wireless technologies and has the potential for further research and improvement of wireless telecommunication systems. Future work may focus on expanding the scope of research, including a wider range of technologies and algorithms that can be used to optimize the performance of cloud radio access networks. In addition, the impact of using distributed computing technologies on other aspects of wireless systems, such as security, resource management, and scalability, can be considered. Research may also focus on the use of other protocols and algorithms to distribute computing tasks and optimize data transmission.

**Keywords:** cloud computing, distributed systems, application as a service, wireless telecommunications networks.

**Міночкін Дмитро Анатолійович**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри телекомунікацій, Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Київ, Україна, ORCID 0000-0003-4988-7098, [dmytro.minochkin@gmail.com](mailto:dmytro.minochkin@gmail.com).

**Minochkin Dmytro**, candidate of technical sciences, senior researcher, associate professor of the Department of telecommunications, Educational and scientific institute of telecommunication system of National technical university of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine.