УДК 543.421:621.38

А.О. Воропаєва (канд. техн. наук, доц.), М.Б. Лурджан, Г.В. Ступак

Державний вищий навчальний заклад

«Донецький національний технічний університет», м. Покровськ,

кафедра автоматики та телекомунікацій

E-mail: anna.voropaieva@donntu.edu.ua; massi.lourdiane@gmail.com; glib.stupak@donntu.edu.ua

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНОЇ МЕРЕЖІ

Актуальність роботи полягає у необхідності дослідження ефективності впровадження технічних рішень з віртуалізації площини управління мережею. Об'єкт дослідження – модель програмно-конфігурованої мережі. Предмет дослідження – затримка передачі різного типу трафіку. Мета роботи – дослідити ефективність роботи SDN-мережі шляхом її моделювання з урахуванням модифікованого алгоритму маршрутизації. В роботі проаналізовано існуючі підходи до моделювання програмно-конфігурованих мереж, зазначено, що такий тип мереж має складатися з контролера та мати здатність конфігурувати політики пересилки пакетів. В якості базису контролера для досліджень було обрано платформу OpenDaylight, яка, на відміну від широко застосованих контролерів, що працюють за протоколом OpenFlow дає змогу вносити корегування в маршрутизацію трафіку. Авторами було розроблено модель сегменту SDN-мережі, перевірено її працездатність та використовуючи модернізований алгоритм маршрутизації потоків в хмарних ігрових сервісах, який базується на використанні комплексних функцій корисності в залежності від виду трафіка було проведено оцінку затримки пакетів TCP та UDP.

Ключові слова: програмно-конфігурована мережа, трафік, контролер, затримка, алгоритми маршрутизації.

DOI: 10.31474/2075-4272-2018-1-31-71-78

Загальна постановка проблеми. Глобальна конвергенція інфокомунікаційних мереж, динамічні зміни вимог до сервісів, підтримка нових послуг (HD Voice, Video Calling, використання VoLTE (передача голосу по LTE) і Wi-Fi Виклики), модернізація існуючих телекомунікаційних інфраструктур є основними з ключових драйверів перетворення ринку зв'язку [1]. Протягом останніх років, світові топ-оператори (AT&T, Telefonica, Deutsche Telekom) активно придивляються до програмно-конфігурованих технологій під призвою різноманітних концепцій та комерційних варіацій та зазначають основні переваги від впровадження концепції SDN (Software Define Network): підвищення швидкості обслуговування, зменшення операційних витрат, зменшення складності операцій [2,3].

Так, представник компанії AT&T John Donovan регулярно виражає трансформаційні плани компанії, та говорить про так звану стратегію "User-defined Network Cloud" [4]. До 2020, планується віртуалізувати контроль над більш ніж 75% мереж з використанням програмних архітектур. Першою фазою була віртуалізація функцій мереж AT&T, включаючи мобільне пакетне ядро, контролери, балансувальник навантаження, роутери і фаєрволи. У 2014-му році була запущена Network on Demand, один з перших заснованих на SDN сервісів, що дозволяє користувачам збільшувати і зменшувати їх пропускну спроможність залежно від потреби в реальному часі [5]. Одночасно розробляється рішення для віртуалізації мобільної пакетної мережі – точніше функцій, що її контролюють, зводячи мережу в загальну інфраструктуру. Традиційно, кожна мобільна мережа працювала на своєму власному

виділеному обладнанні. Перехід до загальної архітектури, де не залежно від устаткування кожна унікальна функція реалізовується за допомогою програм, дозволяє вже зараз додавати ресурси і можливості набагато швидше, в той же час зменшуючи складність і витрати. Ці концепції дозволяють вирішувати інноваційні проблеми та підтримувати новітні сервіси.

Рішення засновані на розподілених хмарних датацентрах залежать від сервісів і підтримують фізичну дискретність при логічно об'єднаних ресурсах [6]. Дані рішення не ставлять перед собою завдання підвищити ефективність кожного дата центру окремо. Акцент робиться на безлічі дата центрів одночасно, що дає можливість організації хмарної платформи яка розподіляє ресурси по всій мережі. У такій структурі основна роль переходить до операційної системи управління. Зменшення затримок і збільшення продуктивності - ось ключові завдання які ставить віртуалізація мережі перед хмарною операційною системою.

Особливості моделювання SDN мереж. Оцінити ефективність впровадження технічних рішень дає можливість вірно обраний механізм побудови відповідної моделі. Для моделювання процесів та створення проекту SDN мережі необхідно розбити задачу на декілька частин. По-перше, необхідно мати мережу, яка б складалась з OpenFlow комутаторів та була б контрольована справжнім SDN контролером, а також мати здатність конфігурувати політики пересилки пакетів - та як мінімум два хости, кожен з яких може виступати у ролі сервера та посилати чи приймати трафік.

На сьогодні є певні рекомендації щодо створення тестового середовища для запровадження алгоритмів маршрутизації у SDN мережу, та взагалі, для створення повної моделі такої мережі [7]. Зважаючи на те, що основним протоколом комунікації між комутаторами та контролером є OpenFlow протокол, необхідно використовувати програмне забезпечення, що б емулювало роботу реальних OpenFlow комутаторів.

Як відомо, архітектура SDN має два різних мережевих інтерфейсу API. Один з них стандартний, який дозволяє здійснювати шлях мережевих пакетів через мережу комутаторів. Робота OpenFlow полягає в наступному: у класичному варіанті маршрутизаторів або комутаторів, швидка пересилання пакетів (шлях даних) та рішення високого рівня маршрутизації (шлях управління) відбувається на одному тому ж пристрої. OpenFlow розділяє ці дві функції. Дані ще перебуває на комутаторі, в той час як рішення на рівні маршрутизації переміщуються в окремий контролер, як правило, стандартний сервер. Комутатор OpenFlow і контролер зв'язуються через OpenFlow протокол, який визначає повідомлення, такі як "packet-received", "send-packet-out", "modifyforwarding-table", "get-stats". Шлях даних з OpenFlow комутатора представляє чисту абстракцію таблиці пересилки. Кожен запис таблиці потоку містить набір полів пакета для зіставлення, а також дію (наприклад, відправка через порт, зміна поля, або відкидання пакета). Коли комутатор приймає пакет, для якого не існує відповідності в таблиці потоків, він посиляє цей пакет до контролера для прийняття рішення щодо маршрутизації. Відповідні правила пересилки для цього пакету поширюються між необхідними елементами мережі і він може бути відкинтий, або контролер може додати запис до таблиці, направляючи пакет до потрібного OpenFlow комутатора. Для емуляції цих процесів одним з найбільш стабільних та близьких варіантів є використання програмного пакету Mininet - мережевого емулятора, який створює віртуальні хости, комутатори, контролери і з'єднання [8].

Важливим при моделюванні роботи SDN-мережі в обраному програмному середовищі є вірно висунуті вимоги до контролера. Пропонується як базис обрати OpenDaylight платформу, що забезпечує загальну основу і надійний спектр послуг для SDN середовища. Платформа представляє модель контролера, який дозволяє використовувати OpenFlow, а також альтернативні механізми маршрутизації з урахуванням балансування навантаження [9, 10].

Побудова моделі програмно-конфігурованої мережі. Для моделювання було обрано сегмент мережі провайдера телекомунікаційних послуг, який враховує основні компоненти базових топологій та має достатню кількість резервних маршрутів, що задовольняє вимогам до надійності та еластичності SDN-мереж (див. рис. 1).

Рисунок 1 – Топологія мережі SDN.

Параметри пропускної спроможності каналів зв'язку та затримки зведено до таблиці 1.

Таблиця 1 – Вхідні параметри для емуляції роботи SDN-мережі

З'єднання	Пропускна спроможність (Mb/s)	Затримка(ms)
H1-S3	100	1
S3-S4	10	5
S3-S5	100	2
S3-S6	10	6
S4-S7	10	5
S4-S8	10	4
S4-S9	100	2
S5-S7	100	3
S5-S9	10	5
S6-S8	100	2
S6-S9	10	6
S7-S10	10	5
S8-S10	100	1
S9-S10	100	2
S10-H2	10	4

Перед початком емуляції роботи мережі в середовищі Mininet треба прив'язати її до контролера OpenDaylight, який встановлюється на локальному хості. Для тестування з'єднання використовується стандартний інструмент «пінг». Необхідно зауважити, що тому що у комутаторах ще не було жодної інформації про жодну з мереж або хостів, та комутатори не здатні самостійно аналізувати та приймати рішення щодо пересилки пакетів, - перший пакет посилається до OpenDaylight контролера, який у свою чергу аналізує пакет та передає своє рішення щодо його пересилки до усіх комутаторів. Це призводить до більшої затримки першого пакету. Однак для усіх інших пакетів затримка вже значно менша, тому що комутатори вже мають у своїх таблицях маршрутизації усю необхідну для пересилки інформацію (див. рис. 2).

```

mininet> h1 ping h2
PING 10.0.0.2 (10.0.0.2) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_req=1 ttl=64 time=80.9 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_req=2 ttl=64 time=2.45 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_req=3 ttl=64 time=5.31 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_req=4 ttl=64 time=3.07 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_req=5 ttl=64 time=3.41 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_req=6 ttl=64 time=3.96 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_req=7 ttl=64 time=5.74 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_req=8 ttl=64 time=4.92 ms
^C
Interrupt
stopping h1
mininet>

```

Рисунок 2 – Результати тестування з'єднання.

Для аналізу роботи мережі з CLI Mininet було обрано дві команди: NET та DUMP. Перша дає детальну інформацію про зв'язки у мережі, який елемент мережі поєднаний з яким та, що не менш важливо, через який інтерфейс. Друга команда надає інформацію про конфігурацію інтерфейсів кожного окремого елемента мережі. Використовуючи Wireshark у реальному часі можна спостерігати, як контролер використовуючи протокол OpenFlow спілкується з елементами мережі (див. рис. 3). Можна побачити пакети, що були захоплені Wireshark при спробі зробити пінг від хоста один до хоста два. Можна зробити висновок, що форма ICMP пакету залишилася незмінною – тобто площа передачі не зазнала жодних перетворень та все ті ж загальновідомі стандартні протоколи передачі продовжують використовуватися з успіхом і в SDN мережах. Проте, чітко можна прослідити комунікацію між OpenSwitch який працює на локальному хості у Mininet, та OpenDaylight – який також встановлений на локальному хості, проте номер порта відрізняється.

Filter: tcp.stream eq 6							Expression...	Clear	Apply
No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info			
892	22.985650	127.0.0.1	127.0.0.1	TCP	68	60731			
893	22.987034	127.0.0.1	127.0.0.1	OF 1.0	600	of por			
895	23.028221	127.0.0.1	127.0.0.1	TCP	68	6633 >			
1036	27.075097	127.0.0.1	127.0.0.1	OF 1.0	76	of ech			
1037	27.075445	127.0.0.1	127.0.0.1	TCP	68	6633 >			
1040	27.079608	127.0.0.1	127.0.0.1	OF 1.0	76	of ech			
1058	27.116323	127.0.0.1	127.0.0.1	TCP	68	60731			
1071	28.029687	127.0.0.1	127.0.0.1	TCP	100	6633 >			

Filter: ip.src==10.0.0.1							Expression...	Clear	Apply
No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info			
1043	27.113100	10.0.0.1	10.0.0.2	ICMP	100	Echo (p			
1044	27.113134	10.0.0.1	10.0.0.2	ICMP	100	Echo (p			
1045	27.113294	10.0.0.1	10.0.0.2	ICMP	100	Echo (p			
1046	27.113327	10.0.0.1	10.0.0.2	ICMP	100	Echo (p			
1047	27.113482	10.0.0.1	10.0.0.2	ICMP	100	Echo (p			
1048	27.113511	10.0.0.1	10.0.0.2	ICMP	100	Echo (p			
1049	27.113667	10.0.0.1	10.0.0.2	ICMP	100	Echo (p			
1084	28.117569	10.0.0.1	10.0.0.2	ICMP	100	Echo (p			

Рисунок 3 – Пакети циркулюючі у мережі

Аналіз роботи моделі мережі. Коли стандартна конективність та площа передачі збережені, необхідно проаналізувати яким чином контролер задає маршрути та визначає шляхи для кожного пакету. Для цього також було обрано інструментарій Wireshark. Після прийняття контролером рішення про з'єднання використовується запит типу POST до контролера за портом 8080 – тобто присутній стандартний http інтерфейс, що призначений для встановки маршрутів. Звідси можна зробити висновок, що використовуючи цей інтерфейс можна незалежно, написавши додаток для контролера, що реалізує певний алгоритм маршрутизації, встановлювати правила та політики у мережі, створюючи необхідні

маршрути для кожного вузла та відповідного трафіку.

Використовуючи модернізований алгоритм маршрутизації потоків в хмарних ігрових сервісах, який базується на використанні комплексних функцій корисності в залежності від виду трафіка для підвищення якості надання послуг було авторами було розроблено його програмну реалізацію. Для тестування мережі та симуляції трафіку був використаний інструмент *iperf* який може створювати повідомлення TCP та UDP, потоки даних і вимірювати пропускну здатність мережі. Для дослідження на одному з хостів в середовищі Mininet спочатку було запущено сервер генеруючий TCP трафік, а за тим на тому ж хості було запущено сервер генеруючий UDP трафік. Експеримент було проведено для роботи стандартного OSPF, що за замовчанням використовується у OpenDaylight, у який було внесено корективи для урахування особливостей трафіку, відповідно до модернізованого алгоритму. Основним параметром спостережень, за яким можна оцінити якість роботи запропонованого модифікованого алгоритму, виступала затримка. Як видно з рисунку 4, в результаті спостерігається зменшення затримки в середньому на 15% відсотків для TCP трафіку та у середньому на 10 відсотків для UDP трафіку.

Рисунок 4 – Результати вимірювання затримки в модельованій SDN-мережі.

Висновок.

В результаті роботи було проаналізовано механізми моделювання програмно-конфігурованих мереж з урахуванням вимог до їх надійності, еластичності та масштабованості. Авторами було обрано програмне середовище емуляції роботи SDN-мереж та обрано тип контролера як OpenDaylight. Роботу мережі було перевірено за допомогою стандартних команд та механізмів, після чого проаналізовано алгоритм здійснення маршрутизації стандартними протоколами, що використовуються в контролерах обраного типу, а саме OSPF. Зазначено, що при використанні модифікованого алгоритму маршрутизації, який базується на знаннях про тип трафіку та заснован на розрахунку оптимального з точки зору коефіцієнтів зв'язків шляху затримка передачі пакетів в мережі значно зменшується.

Перелік використаної літератури

1. Одарченко, Р.С. Дослідження вимог до стільникових мереж нового покоління та можливості їх розгортання в Україні / Р.С. Одарченко, А. О. Абакумова, Н. В. Дика // Проблеми інформатизації та управління. Збірник наукових праць. – К.: НАУ, 2016. – Випуск: 2(54). – С. 52-59.
2. The Network of the Future is Here: [Електронний ресурс]: The network of the future is here. How can you effectively implement it today? AT&T Business: – Режим доступу: <https://www.business.att.com/content/dam/attbusiness/reports/in-sdn-network-of-future-ebook.pdf>. - Назва з титул. екрана.
3. Software Defined Networking: [Електронний ресурс]: Improve network agility and simplify infrastructure management through software-centric control at the edge of the network. – Режим

- доступу: <https://www.business.att.com/categories/software-defined.html>. - Назва з титул. екрана.
4. Introducing the “User-Defined Network Cloud” [Електронний ресурс]: Vision for AT&T's network of the future. – Режим доступу: https://about.att.com/newsroom/introducing_the_user_defined_network_cloud.html. – Назва з титул. екрана.
 5. Network on demand redefines network service delivery [Електронний ресурс]: Network on Demand redefines how companies expand their networks and services. Businesses can now adapt their networks as quickly as their needs change. – Режим доступу: <https://www.business.att.com/learn/tech-advice/network-on-demand-redefines-network-service-delivery.html> – Назва з титул. екрана.
 6. Воропаєва А.О. Віртуалізація мережі датацентру з використанням рішень SDN/VXLAN / А.О. Воропаєва // ТАК – телекомунікацій, автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології: Науково-практичний форум, м. Покровськ, 29-30 листопада 2016р: тези доповідей. – Покровськ, ДонНТУ. – С. 13-15.
 7. Гніденко М.П. Побудова SDN мереж.- Навчальний посібник / М.П. Гніденко, В.В. Вишнівський, О.О. Ільїн. - – Київ: ДУТ, 2019. – 190 с.
 8. Mininet [Електронний ресурс]: An Instant Virtual Network on your Laptop (or other PC). - Режим доступу: <http://mininet.org/> – Назва з титул. екрана.
 9. Воропаєва А.О. Використання SDN-рішень в транспортних мережах операторів зв'язку / А.О. Воропаєва, Г.В. Ступак // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. – Покровськ: ДонНТУ, 2018. – Випуск 1 (31). – С. 70-77.
 10. Воропаєва А.О. Використання програмно-конфігурованих мереж для маршрутизації інформаційних потоків в хмарних системах / А.О. Воропаєва, М.Б. Лурджан // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. – Покровськ: ДонНТУ, 2017. – Випуск 1 (30). – С. 38-45.

References

1. Odarchenko, R. S., Abakumova, A.O. and Dika N.V. (2016) “Study requirements for new generation of cellular networks and their possibilities to deploy in Ukraine”, *Problemi informatizatsiyi ta upravlinnya. Zbirnik naukovih prac*, vol. 2(54), pp. 52-59.
2. The network of the future is here. How can you effectively implement it today? AT&T Business (2018) Electronic Resources: finding resources by subject [online], Retrieved from: <https://www.business.att.com/content/dam/attbusiness/reports/in-sdn-network-of-future-ebook.pdf>. (Accessed 24 March 2019).
3. Software Defined Networking: Improve network agility and simplify infrastructure management through software-centric control at the edge of the network (2016) Electronic Resources: finding resources by subject [online], Retrieved from: <https://www.business.att.com/categories/software-defined.html>. (Accessed 15 March 2019).
4. Introducing the “User-Defined Network Cloud” Vision for AT&T's network of the future (2015) Electronic Resources: finding resources by subject [online], Retrieved from: https://about.att.com/newsroom/introducing_the_user_defined_network_cloud.html. (Accessed 25 May 2019).
5. Network on Demand redefines how companies expand their networks and services. Businesses can now adapt their networks as quickly as their needs change. (2016) Electronic Resources: finding resources by subject [online], Retrieved from: <https://www.business.att.com/learn/tech-advice/network-on-demand-redefines-network-service-delivery.html>. (Accessed 31 March 2019).
6. Voropaeva, A.O. (2016) “Virtualizatsiia merezhi datatsentru z vykorystanniam rishen

- SDN/VXLAN”, *TAK – telekomunikatsii, avtomatyka, komp’iuterno-intehrovani tekhnolohii: Naukovo-praktychnyi forum*, pp. 13-15.
7. Gnidenko, M.P., Vyshnivsky, V.V. and Ilin, O.O. (2019), *Pobudova SDN merezh*, Kyiv, Ukraine.
 8. Mininet: An Instant Virtual Network on your Laptop (or other PC) (2019) Electronic Resources: finding resources by subject [online], Retrieved from: <http://mininet.org>. (Accessed 20 March 2019).
 9. Voropaeva, A.O. and Stupak, G. V. (2018) “Vykorystannia SDN-rishen v transportnykh merezhakh operatoriv zviazku”, *Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo tekhnichnogo univer-sytety Seriya: Obchysluvalna tekhnika ta avtomatyzatsiya* –vol. 1. - №. 31. – P. 70 – 77.
 10. Voropaeva, A. O. and Lourdjane, M. B. (2017) “Vykorystannia prohramno-konfighurovanykh merezh dlia marshrutyzatsii informatsiinykh potokiv v khmarnykh systemakh”, *Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo tekhnichnogo univer-sytety Seriya: Obchysluvalna tekhnika ta avtomatyzatsiya* –vol. 1. - №. 30. – P. 38 – 45.

А.А. Ворopaева, М.Б. Лурджан, Г.В. Ступак

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

Разработка и исследование модели программно-конфигурируемой сети

Актуальность работы заключается в необходимости исследования эффективности внедрения технических решений по виртуализации плоскости управления сетью. Объект исследования - модель программно-конфигурируемой сети. Предмет исследования - задержка передачи различного типа трафика. Цель работы - исследовать эффективность работы SDN-сети путем ее моделирования с учетом модифицированного алгоритма маршрутизации. В работе проанализированы существующие подходы к моделированию программно-конфигурируемых сетей, указано, что такой тип сетей должен состоять из контроллера и иметь способность конфигурировать политики пересылки пакетов. В качестве базиса контроллера для исследований было выбрано платформу OpenDaylight, которая, в отличие от широко применяемых контроллеров, работающих по протоколу OpenFlow позволяет вносить корректировки в маршрутизацию трафика. Авторами была разработана модель сегмента SDN-сети, проверено ее работоспособность и используя модернизированный алгоритм маршрутизации потоков в облачных игровых сервисах, основанный на использовании комплексных функций полезности в зависимости от вида трафика была проведена оценка задержки пакетов TCP и UDP.

Ключевые слова: программно-конфигурируемые сети, трафик, контроллер, задержка, алгоритмы маршрутизации.

A.O. Voropaeva, M.B. Lourdjane, G. Stupak

Donetsk National Technical University

Development and research of a software-defined network model

The relevance of the work is in the need to study the effectiveness of technical solutions implementation for virtualization of the network management plane. The transition to a common SDN-architecture, where no matter what the hardware, each unique feature is implemented through applications, allows to add resources and capabilities much faster, while reducing complexity and cost. These concepts allow network operators to solve innovative problems and support the latest services. The object of study is a software-defined network model. The subject of the study is the transmission delay of various types of traffic. The purpose of the work is to investigate the performance of SDN network by developing its model taking into account the modified routing algorithm, which dynamically distributes incoming packets between different available paths in directly-proportionally measured delays. The paper analyzes the existing approaches to modeling software-defined networks, indicates that this type of network should consist of a controller and

have the ability to configure packet forwarding policies. Authors noticed that requirements for the controller are important in the selected software environment in SDN-network modelling. As the basis of the controller for research, the OpenDaylight platform was chosen, which, unlike the widely used controllers operating under the OpenFlow protocol, allows making adjustments to the routing of traffic. Using the standard http interface makes it possible by writing an application for a controller that implements a specific routing algorithm, set rules and policies on the network, creating the necessary routes for each node and the corresponding traffic. A telecommunication service provider network segment was selected for modeling, which takes into account the basic components of the underlying topologies and has a sufficient number of back-up routes, which satisfies the requirements for the reliability and elasticity of SDN networks. The authors developed a model for the SDN network segment, tested its operability, and using the streamlined routing algorithm for streams in cloud gaming services, based on the use of complex utility functions depending on the type of traffic, TCP and UDP packet delays were estimated.

Keywords: software-defined networks, traffic, controller, delay, routing algorithms.

Воропаєва Анна Олександрівна, Україна, закінчила Донецький національний технічний університет, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автоматики та телекомунікацій ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, 85300, Україна). Основний напрям наукових досліджень - методи оптимізації безпроводових телекомунікаційних мереж.

Лурджан Масиніса Брахімович, магістр з телекомунікаційних систем та мереж Донецького національного технічного університету, кафедри автоматики та телекомунікацій ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, 85300, Україна). Основний напрям наукових досліджень – дослідження та модернізація існуючих варіацій створення SDN-мереж, протоколи маршрутизації, балансування навантаження.

Ступак Гліб Володимирович, Україна, закінчив Донецький національний технічний університет, старший викладач кафедри автоматики та телекомунікацій ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, 85300, Україна). Основний напрям наукових досліджень – напрямні системи телекомунікацій.