

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
Національного університету
"Львівська політехніка"

доц. І.В. Демидов
10 12 2020 р.



ВИТЯГ

з протоколу № 1 фахового семінару кафедри телекомунікацій
Національного університету "Львівська політехніка" від 08.12.2020р.

1. ПРИСУТНІ: 18 із 25 науково-педагогічних працівників кафедри телекомунікацій, а саме:

1. Климаш Михайло Миколайович, завідувач кафедри, д.т.н., професор;
2. Пелішок Володимир Олексійович, професор, д.т.н., доцент;
3. Кайдан Микола Володимирович, професор, д.т.н., доцент;
4. Кирик Мар'ян Іванович, професор, д.т.н., доцент;
5. Романчук Василь Іванович, професор, д.т.н., доцент;
6. Демидов Іван Васильович, проректор з наукової роботи, професор, д.т.н., доцент;
7. Бешлей Микола Іванович, докторант, старший викладач, к.т.н.;
8. Максимюк Тарас Андрійович, докторант, старший викладач, к.т.н.;
9. Коваль Богдан Володимирович, доцент, к.т.н., доцент;
10. Бурачок Роман Адамович, доцент, к.т.н., доцент;
11. Децик Ксенія Олегівна, доцент, к.т.н., доцент;
12. Думич Степан Степанович, к.т.н., доцент;
13. Селюченко Мар'ян Олександрович, асистент, к.т.н.;
14. Красько Олена Володимирівна, старший викладач, к.т.н.;
15. Бугиль Богдан Анатолійович, асистент, к.т.н.;
16. Пиріг Юлія Володимирівна, асистент, к.т.н.;
17. Бак Роман Іванович, старший викладач, к.т.н.;
18. Шпур Ольга Миколаївна, асистент, к.т.н.

На засідання присутні аспіранти кафедри:

1. Бешлей Галина Володимирівна;
2. Андрущак Володимир Степанович;
3. Гордійчук-Бублівська Олена Василівна.

На засідання запрошені:

1. Стрихалюк Богдан Михайлович, Національний університет "Львівська політехніка", директор Навчально-наукового інституту телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки, доцент кафедри радіоелектронних пристроїв та систем, д.т.н.;
2. Озірковський Леонід Деонісійович, Національний університет "Львівська політехніка", декан базової вищої освіти Навчально-

- наукового інституту телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки, доцент кафедри теоретичної радіотехніки та радіовимірювань, к.т.н., доцент;
3. Фаст Володимир Миколайович, Національний університет "Львівська політехніка", доцент кафедри електронних засобів інформаційно-комп'ютерних технологій Навчально-наукового інституту телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки, к.т.н., доцент;
 4. Яремко Олег Миколайович, Національний університет "Львівська політехніка", докторант кафедри радіоелектронних пристроїв та систем Навчально-наукового інституту телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки, к.т.н.;
 5. Кочан Орест Володимирович, Національний університет "Львівська політехніка", доцент кафедри інформаційно-вимірювальних технологій Навчально-наукового інституту комп'ютерних технологій, автоматики та метрології, д.т.н., доцент;
 6. Дронюк Іванна Мирославівна, Національний університет "Львівська політехніка", доцент кафедри автоматизованих систем управління Навчально-наукового інституту комп'ютерних наук та інформаційних технологій, к.ф.-м.н., доцент.

З присутніх – 7 докторів наук та 17 кандидатів наук – фахівці за профілем представленої дисертації.

Головуючий на засіданні – д.т.н., професор, завідувач кафедри телекомунікацій Климаш М.М.

2.СЛУХАЛИ: Доповідь випускника аспірантури 2020р. кафедри телекомунікацій Панченка Олексія Михайловича за матеріалами дисертації: «Адаптивне управління ресурсами та якістю обслуговування у програмно-конфігурованих сервісно-орієнтованих телекомунікаційних мережах», представленої на здобуття вищої освіти ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка» (галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»)

Науковий керівник – д.т.н., доцент Демидов І.В.

Тему дисертації затверджено "18" жовтня 2016 року на засіданні Вченої ради Навчально-наукового інституту телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки Національного університету "Львівська політехніка", протокол № 3.

Робота виконана на кафедрі телекомунікацій Національного університету "Львівська політехніка".

По доповіді було задано 18 запитань, на які доповідач дав правильні та ґрунтовні відповіді. Питання задавали:

- завідувач кафедри телекомунікацій, д.т.н., проф. Климаш Михайло Миколайович;
- професор кафедри телекомунікацій, д.т.н., доц. Кирик Мар'ян Іванович;
- професор кафедри телекомунікацій, д.т.н., доц. Романчук Василь Іванович;
- докторант кафедри телекомунікацій, к.т.н. Бешлей Микола Іванович;
- докторант кафедри телекомунікацій, к.т.н. Максимюк Тарас Андрійович;
- асистент кафедри телекомунікацій, к.т.н. Шпур Ольга Миколаївна;
- асистент кафедри телекомунікацій, к.т.н. Бугиль Богдан Анатолійович;
- директор Навчально-наукового інституту телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки д.т.н. Стрихалюк Богдан Михайлович;
- доцент кафедри інформаційно-вимірювальних технологій Навчально-наукового інституту комп'ютерних технологій, автоматики та метрології, д.т.н., доцент, к.т.н., доц. Кочан Орест Володимирович;
- доцент кафедри електронних засобів інформаційно-комп'ютерних технологій, к.т.н., доц. Фаст Володимир Миколайович.

3. Виступи присутніх.

З оцінкою дисертації Панченка О.М. виступили рецензенти:

- професор кафедри телекомунікацій, д.т.н., доц. Кайдан Микола Володимирович;
- доцент кафедри автоматизованих систем управління, к.ф.-м.н., доц. Дронюк Іванна Мирославівна,

які зазначили, що тема дисертації є актуальною, оскільки розвиток інформаційно-комунікаційних технологій потребує розробки нових моделей і методів адаптивного управління потоками даних та мережевими ресурсами, спрямованих на забезпечення ефективної роботи телекомунікаційної мережі, а представлені доповідачем результати мають перспективи практичного впровадження. Дослідження виконані у роботі на високому науковому рівні, результати підтверджені експериментально. Здобувач уміло використовує сучасні методи наукових досліджень складних телекомунікаційних систем, інформаційні технології для опрацювання даних і подання отриманих результатів. Результати дисертаційної роботи є науково-обґрунтованими та оригінальними. Отримані результати підтверджуються публікацією їх у зарубіжних і українських фахових виданнях і апробацією на міжнародних науково-практичних конференціях. Стиль викладення результатів дослідження є хорошим, якість редагування – високою.

Також було вказано на зауваження. У якості зауважень рецензенти д.т.н. Кайдан М.В. та к.ф.-м.н. Дронюк І.М. зазначили, що недоліки, які притаманні рецензованій дисертаційній роботі носять формальний та технічний характер, а незначна кількість композиційно-стилістичних недоліків не применшує позитивного враження від роботи. Рецензент д.т.н. Кайдан М.В. рекомендував детальніше представити окремі отримані практичні результати у презентації роботи, а також потребу в редакційно-стилістичному опрацюванні рецензованих матеріалів, більш чіткому висвітленні окремих наукових результатів дослідження. Рецензент к.ф.-м.н. Дронюк І.М. відзначила, що під час виступу доцільно було б сфокусуватися на висвітленні пунктів наукової новизни та вказала на деякі невідповідності, що пов'язані з термінологією та об'єктом дослідження.

З оцінкою дисертаційної роботи також виступили присутні на фаховому семінарі кафедри телекомунікацій:

- професор кафедри телекомунікацій, д.т.н., доц. Кирик Мар'ян Іванович, який відзначив актуальність тематики дисертаційної роботи, суттєву новизну одержаних наукових результатів. Рекомендував оцінити можливості редагування назв розділів роботи, зокрема привести їх до активної форми. Вказав на безсумнівний вклад здобувача в одержані та представлені ним результати. Звернув увагу на практичне значення роботи, яке полягає у можливості їх безпосереднього застосування для підвищення якості обслуговування користувачів в телекомунікаційних мережах;
- професор кафедри телекомунікацій, д.т.н., доц. Романчук Василь Іванович, який відзначив науковий потенціал здобувача, актуальність обраного напрямку досліджень, особливо у зв'язку з потребою нових технологічних рішень, що дадуть змогу покращити якість функціонування в сучасних телекомунікаційних мережах і забезпечити їх працездатність із зростаючими вимогами до трафіку. Відзначив, що запропонований метод адаптивної багатокритеріальної маршрутизації потоків даних в програмно-конфігурованих сервісо-орієнтованих мережах, дасть змогу автоматизовано визначати оптимальні шляхи передавання даних, уникаючи погіршення параметрів QoS та забезпечити більш рівномірне завантаження мережі шляхом балансування трафіку;
- доцент кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, к.т.н. доц. Кочан Орест Володимирович, який відзначив важливість представлених у роботі досліджень. Звернув увагу на високу науково-технічну ерудицію здобувача та його відчутний науково-педагогічний досвід. Вказав на практичну значущість одержаних результатів, що дозволяє говорити про високий потенціал щодо їх застосування операторами телекомунікаційних мереж;
- докторант кафедри телекомунікацій, к.т.н. Бешлей Микола Іванович, який наголосив, що дисертаційна робота Панченка Олексія Михайловича виконана на належному теоретичному, практичному і методологічному рівні, вирізняється своєю змістовністю та інформаційною насиченістю, тому її можна рекомендувати для подання до розгляду у спеціалізовану вчену раду.

Загальна характеристика дисертації – позитивна.

З характеристикою наукової зрілості здобувача виступив науковий керівник д.т.н., доц. Демидов І.В., який відзначив, що здобувач почав займатися науковими дослідженнями в галузі інформаційно-комунікаційних технологій задовго до вступу в аспірантуру. Більшість досліджень Панченко О.М. проведено самостійно. Матеріал у розділах роботи викладається в логічній послідовності й легко читається. Новому прочитанню, змістовному аналізу піддаються в роботі багато опублікованих джерел. Цінним є те, що у кожному із розділів робляться аргументовані узагальнення. Активно беручи участь у наукових дослідженнях кафедри телекомунікацій, здобувач зміг виконати дисертаційну роботу та представити результати своїх дисертаційних досліджень на високому рівні. Здобувач активно співпрацює з аспірантами та магістрантами кафедри, є співвиконавцем держбюджетних та госпдоговірних тем. Враховуючи ерудованість та науковий рівень здобувача, достатню кількість опублікованих наукових праць, а також його працьовитість, наполегливість і активність, якісна характеристика особистості Панченка Олексія Михайловича як дослідника – позитивна. В загальному здобувача охарактеризовано, як зрілого науковця.

4. Заслухавши та обговоривши доповідь Панченка Олексія Михайловича, а також за результатами попередньої експертизи представленої дисертації на фаховому семінарі кафедри телекомунікацій, прийнято наступні висновки щодо дисертації «Адаптивне управління ресурсами та якістю обслуговування у програмно-конфігурованих сервісно-орієнтованих телекомунікаційних мережах»:

Висновок

фахового семінару кафедри телекомунікацій Національного університету "Львівська політехніка" про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації «Адаптивне управління ресурсами та якістю обслуговування у програмно-конфігурованих сервісно-орієнтованих телекомунікаційних мережах» здобувача вищої освіти ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка» (галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»)

4.1. Актуальність теми дисертації

Розподіл ресурсів та якість управління послугами в системах, що базуються на парадигмі сервісно-орієнтованої архітектури (SOA), є дуже важливими завданнями, що дають змогу максимізувати задоволеність клієнтів та прибуток постачальника послуг. У наші дні в системах SOA, які використовують Інтернет як комунікаційну шину, виникає технічна проблема стосовно гарантованої якості надання послуг за критеріями часу відгуку послуги. Оскільки загальний час відгуку на надання сервісу складається із тривалості обробки запитів на серверах додатків та мережної затримки, що вносяться комутаторами та маршрутизаторами, завдання доставки запитуваного часу відповіді послуги вимагає належного управління як комунікаційними, так і обчислювальними ресурсами. Забезпечення ефективного наскрізного управління ресурсами та управління якістю в таких складних гетерогенних сценаріях конвергентної мережі вимагає уніфікованих, адаптивних та масштабованих рішень для інтеграції та координації різноманітних механізмів якості надання послуг. Досягнення вимог клієнта з найменшими експлуатаційними витратами – суть створення та забезпечення функціонування майбутніх мереж. Зазвичай ця складна проблема ділиться на сукупність невирішених технічних завдань меншої деталізації. Одним із таких завдань є адаптивне управління ресурсами та інженерія трафіку в мережевих пристроях. Для вирішення даного завдання необхідні еластичні рішення, які ґрунтуються на оцінці стану мережних вузлів в залежності від обсягів вхідного навантаження з метою проведення правильного збалансування та ефективного розподілу ресурсів.

Дослідженням завдань адаптивного управління мережними ресурсами, трафіком та забезпечення якості обслуговування в сучасних телекомунікаційних мережах активно займаються, як фахівці України: Лемешко О.В., Одарченко Р.С., Єременко О.С., Ложковський А.Г., Соловська І.М., Беркман Л.Н., Безрук В.М., Глоба Л.С. так іноземних країн: М. Samuel, Р. Rygielski, К. Phemius and L. Liao, зокрема, особливу увагу слід звернути на останні роботи спрямовані на дослідження програмно-конфігурованих мереж (SDN).

Використання технології програмно-конфігурованих мереж забезпечує високу

гнучкість в процесі управління інфраструктурою і спрощує віртуалізацію мережних ресурсів. Динамічна конфігурація мережі за допомогою контролера без зміни апаратного і програмного забезпечення мережеских пристроїв привела до того, що сьогодні більшість операторів телекомунікаційних мереж частково впроваджують цю технологію, але при цьому алгоритми управління трафіком і методи передавання даних залишаються практично незмінними. У зв'язку з цим питання якості управління та обслуговування трафіку відповідно до замовлених вимог користувачів і ефективності використання мережеских ресурсів не втрачає актуальності і сьогодні.

Таким чином, неухильне зростання різноманітності та обсягів інформаційних потоків в телекомунікаційних мережах, спонукають до розв'язання науково-практичного завдання забезпечення замовленої якості обслуговування в умовах обмеженості мережеских ресурсів шляхом розроблення нової моделі програмно-конфігурованої сервісно-орієнтованої мережі з адаптивним управлінням ресурсами та якістю обслуговування, яка базується на удосконалених методах та алгоритмах адаптивного встановлення пріоритетів послуг, вибору сервера обслуговування та маршруту передавання даних.

4.2. Зв'язок теми дисертації з державними програмами, науковими напрямами університету та кафедри

Тематика дисертаційного дослідження виконувались у відповідності до наукового напряму кафедри телекомунікацій Національного університету «Львівська політехніка» - «Інфокомунікаційні системи та мережі», в межах низки держбюджетних науково-дослідних робіт: «Методи побудови гетерогенних інформаційно-комунікаційних систем для розгортання програмно-конфігурованих мереж 5G подвійного використання» (№ держреєстрації 0117U004449, (2017–2018 рр.)); «Розробка методів та уніфікованих програмно-апаратних засобів для розгортання енергоефективних інтенційно - орієнтованих інфокомунікаційних мереж подвійного призначення» (№ держреєстрації 0120U102201, (2020-2022 рр.)). Окрім того, дисертація виконана в межах госпдоговірних робіт: «Розробка методів управління контентом в інформаційній системі підприємства з використанням технологій віртуалізації» (ГД №_741) ТОВ «ІнформКонсалт» (29.09.2017 р. – 31.10.2017 р.); «Розробка енергоефективної SDN платформи для надання сервісів IoT в корпоративних мережах » (ГД №0632) ТОВ «ІнформКонсалт» (1.10.2019 р. – 30.11.2019 р.).

4.3. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів

Аналіз структури та змісту дисертації та наукових праць, що опубліковані автором, дозволяє стверджувати, що усі наукові та практичні результати отримані ним особисто і повною мірою опубліковані та апробовані.

Панченком О.М. запропоновано концептуальну модель програмно-конфігурованої сервісно-орієнтованої мережі з адаптивним управлінням ресурсами та якістю обслуговування. На відміну від існуючих моделей побудови сервісно-орієнтованих телекомунікаційних мереж, у яких політика управління ресурсами на рівні мережеских пристроїв та на рівні обчислювальних серверів відбувається не узгоджено, розроблена у роботі модель дає змогу централізувати цих два рівні шляхом введення SDN контролера для узгодженого адаптивного управління ресурсами. Встановлено, що запропонована

модель програмно-конфігурованої сервісно-орієнтованої мережі дає змогу гарантувати замовлений рівень сервісу аналізуючи QoE оцінки користувачів згідно договору SLA, шляхом адаптивного виставлення пріоритетів послуг, розподілу каналних ресурсів у мережевих вузлах, балансування навантаження на серверах та реалізації нових протоколів маршрутизації.

Удосконалено метод вимірювання затримки передавання даних в програмно-конфігурованих мережах, використання на практиці якого, дало змогу в процесі моніторингу підвищити до 70% точність оцінки стану каналу між комутаторами за критерієм затримки для низько пріоритетних потоків. А це, своєю чергою, дало можливість забезпечити правильність вибору оптимального шляху в процесі реалізації адаптивної маршрутизації, метрика, якої базується на багатокритеріальному аналізі стану каналу, одним і з яких є поточна затримка каналу. Перевагою даного методу є простота реалізації, оскільки вимірювання затримки в каналі базується на зальноприйнятих правилах щодо комунікації між контролером та комутаторами шляхом обміну повідомленнями Packet_out та Packet_in.

Розроблено алгоритм адаптивної пріоритезації інформаційних потоків, який за рахунок автоматизації управління на рівні SDN контролера дає змогу динамічно змінювати пріоритети мережних потоків у випадку погіршення параметрів якості обслуговування трафіку в процесі передавання крізь мережу для підтримки замовленої якості обслуговування конкретних користувачів. Запропонований алгоритм базується на критеріях допустимої якості обслуговування інформаційних потоків та їх важливості для клієнта, що дає змогу створити уніфікований і формалізований підхід щодо визначення пріоритетів обслуговування різноманітних сервісів телекомунікаційних мереж, у тому числі сервісів Інтернету речей, що є необхідним в процесі розв'язання завдань ефективного та гнучкого управління ресурсами мережі з адаптацією до потреб користувачів.

Розроблено метод адаптивної багатокритеріальної маршрутизації потоків даних в програмно-конфігурованих сервісно-орієнтованих мережах, який, на відміну від класичних алгоритмів розв'язання задач маршрутизації, що оперують лише одним чи двома параметрами оптимізації для встановлення вартості шляху, використовує адаптивну інтегральну метрику окремо для кожного класу інформаційних потоків. Дана метрика базується на вимірних параметрах QoS, що характеризують кожну гілку топології мережі в процесі її функціонування та необхідних вимог до якості надання сервісів згідно укладеного договору SLA. Доведено, що розроблений метод маршрутизації дає необхідний інструмент для спрощення управління системою зв'язку, шляхом маніпуляції ваговими коефіцієнтами інтегральної метрики, тим самим зводячи завдання забезпечення необхідної якості надання сервісів до підбору їх «найкращих» значень, адаптуючись під потреби користувачів.

Запропоновано алгоритм розв'язання задачі багатокритеріальної оптимізації для визначення оптимального сервера обслуговування даних з використанням інтегрального адитивного критерію. Згідно із запропонованим алгоритмом для розв'язання цієї задачі будується функція корисності, яка дає змогу визначити показник ефективності рішення і процес надання переваги зводиться до порівняння чисел-значень. При цьому SDN контролер, що приймає рішення, враховує, що один набір значень локальних критеріїв володіє перевагою над іншими, якщо йому відповідає більше значення функції переваги.

У випадку погіршення якості обслуговування SDN контролер проводить корекцію вагових коефіцієнтів для адаптації серверної площини до забезпечення необхідного рівня якості обслуговування шляхом узгодженості із рівнем QoS, що забезпечується мережною площиною.

Проведено моделювання та дослідження ефективності запропонованих рішень на основі розробленої імітаційної моделі програмно-конфігурованої сервісно-орієнтованої телекомунікаційної мережі. Доведено, що комплексне використання запропонованого методу адаптивної багатокритеріальної маршрутизації та пріоритезації потоків даних, дало змогу забезпечити високий рівень якості сприйняття відео сервісу реального часу в умовах перевантаження окремих елементів мереж. Зокрема, встановлено, що в процесі використання традиційних механізмів управління трафіком, а саме динамічної маршрутизації на основі метрики протоколу OSPF та алгоритму обслуговування черг PQ, рівень отриманої якості становив QoE – 1.8, а з використанням методу адаптивної багатокритеріальної маршрутизації та пріоритезації потоків даних рівень якості сприйняття відеосервісу становив QoE – 4.2.

Розроблено прототип SDN мережі шляхом програмного розгортання віртуального багаторівневого мережевого комутатора з відкритим кодом Open vSwitch на апаратній платформі Raspberry Pi 3 Model B та контролера Floodlight на платформі Orange Pi Prime. Основною перевагою розробленого прототипу SDN мережі є низька собівартість та доступність реалізації, що є важливим для підготовки фахівців у сфері програмно-конфігурованих мереж в процесі проведення навчальних, тренувальних та дослідницьких цілей. Зокрема, у роботі на базі розробленого прототипу мережі проведено дослідження впливу технічних параметрів якості обслуговування в процесі передавання відеопотоків реального часу на рівень якості сприйняття сервісу кінцевим користувачем, визначеного шляхом використання методу експертного оцінювання за 5-бальною шкалою. Що дало змогу з наукової точки зору знайти кореляцію між параметрами якості обслуговування та якістю сприйняття сервісу користувачами формалізованої у вигляді математичної моделі

4.4. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором рішень, висновків, рекомендацій підтверджуються коректним використанням апробованого математичного апарату, методів моделювання, різними способами виконання розрахунків; результатами проведених автором імітаційних комп'ютерних експериментів, відповідністю результатів моделювання (розрахунку) експериментальним результатам, їх зв'язком з існуючими результатами, отриманими із застосуванням класичних методів, а також порівняльним аналізом результатів дисертаційних досліджень із даними літературних джерел, результатами апробацій.

4.5. Ступінь новизни основних результатів дисертації порівняно з відомими дослідженнями аналогічного характеру

1. Вперше розроблено модель програмно-конфігурованої сервісно-орієнтованої телекомунікаційної мережі, яка, на відміну від відомих, використовує централізоване адаптивне управління ресурсами як мережної, так і серверної площини шляхом проведення моніторингу та узгодження динамічного стану їх функціонування, що дає змогу забезпечити адаптивне управління якістю обслуговування користувачів.

2. Удосконалено метод вимірювання затримки передавання даних між будь-якою парою комутаторів та вздовж усього шляху в програмно-конфігурованій мережі, який відрізняється від відомих можливістю формування SDN контролером пробних пакетів з різними пріоритетами, призначених для моніторингу високонавантажених каналів зв'язку, в яких присутні потоки різного класу обслуговування, що дає змогу підвищити точність оцінки стану каналу за критерієм затримки.

3. Набув подальшого розвитку метод маршрутизації потоків даних в програмно-конфігурованих сервісно-орієнтованих мережах, який, на відміну від відомих, для визначення оптимального маршруту передавання даних використовує метод розв'язання задачі багатокритеріальної оптимізації із застосуванням інтегрального адитивного критерію для розрахунку адаптивної метрики маршруту (для певного класу інформаційних потоків) в умовах динамічної зміни стану мережі на основі його багатокритерійного аналізу, що дало змогу врахувати якість обслуговування в каналах та вузлах.

4. Розвинуто математичну модель кореляції рівня задоволеності користувача за оцінкою QoE з технічними параметрами QoS, які забезпечуються в мережі при перегляді відео потоків реального часу, що відрізняється від відомих пошуком необхідного нормалізованого значення інтегрального адитивного критерію QoS при розв'язанні завдання забезпечення замовленого рівня QoE шляхом здійснення багатокритерійної адаптивної маршрутизації потоків даних, метрика якої базується на цьому ж інтегральному адитивному критерії.

4.6. Перелік наукових праць, які відображають основні результати дисертації

Усі результати наукових, теоретичних і практичних досліджень, викладені в дисертації, автор одержав особисто. У працях, опублікованих у співавторстві, дисертантові належать: у роботах [1, 8, 10, 11, 16, 22] – розроблення концептуальної моделі програмно-конфігурованої сервісно-орієнтованої мережі з адаптивним управлінням ресурсами та якістю обслуговування, [20, 24] – удосконалення методу вимірювання затримки передавання даних в програмно-конфігурованих мережах, [2, 4, 7] – розроблення алгоритму адаптивної пріоритезації сервісів телекомунікаційної мережі, [5, 14, 19, 21] – розроблення методу адаптивної багатокритеріальної маршрутизації потоків даних в програмно-конфігурованих сервісно-орієнтованих мережах, [19] – розроблення алгоритму розв'язання задачі багатокритеріальної оптимізації для визначення оптимального сервера обслуговування даних з використанням інтегрального адитивного критерію, [3, 6, 13, 23] – моделювання та дослідження методів адаптивного управління ресурсами та якістю обслуговування на основі розробленої імітаційної моделі телекомунікаційної мережі, [9, 15, 17, 18] – дослідження впливу параметрів QoS на якість сприйняття відео потоків реального часу з допомогою розробленого експериментального зразка SDN мережі.

Основні положення та результати дисертації опубліковано у 24 наукових працях, з них 3 статті у наукових фахових виданнях України, 2 статті у наукових періодичних виданнях інших держав, 3 статті у виданнях України, які входять до міжнародних наукометричних баз та 16 публікацій у збірниках тез наукових конференцій (зокрема 13

– у виданнях, які входять до наукометричних баз даних Scopus та Web of Science), зокрема:

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав:

1. I. Demydov, N. Baydoun, M. Beshley, M. Klymash, and O. Panchenko, "Development of Basic Concept of ICT Platforms Deployment Strategy for Social Media Marketing Considering Tectonic Theory," *EUREKA: Physics and Engineering*, vol. 0, no. 1, pp. 18–33, Jan. 2020. (Scopus)

2. V. Romanchuk, M. Beshley, A. Prislupskiy, H. Beshley, O. Panchenko, "Method of multiservice infrastructure decomposition with network resource slicing for IoT," *Internet of Things (IoT) and Engineering Applications*, Vol. 3, Issue 1, pp. 22-23. May 2018. (CrossRef, Google scholar)

Статті у наукових фахових виданнях України, що включені до наукометричних баз даних:

3. V. Romanchuk, M. Klymash, M. Beshley, O. Panchenko, A. Polishchuk, "Development of software-based router model with adaptive selection of algorithms for queues servicing," *Technology audit and production reserves*, №3/2(41), pp. 46-55, 2018. (Index Copernicus, EBSCO, Google scholar)

4. М. І. Бешлей, В. В. Червенець, І. В. Демидов, В. І. Романчук, О. М. Панченко, "Розвиток методів передавання даних реального часу шляхом вдосконалення процесів пріоритезації потоків у маршрутизаторах," *Системи озброєння і військова техніка: наук. журнал - X: Харк. ун-т Повітр. Сил ім. Івана Кожедуба*, 5(142), с. 114-123, 2016. (Index Copernicus, Google scholar)

5. М.М. Климаш, М.І. Бешлей, Ю.Д. Дещинський, О.М. Панченко, "Розробка методу балансування навантаження в SDN мережах на основі модифікованого протоколу STP," *Комп'ютерні технології друкарства*, № 2, с. 146-155, 2015. (Google scholar)

Статті у наукових фахових виданнях України:

6. М.М. Климаш, В.І. Романчук, О.М. Панченко, М.І. Бешлей, А.В. Поліщук, "Розроблення програмного маршрутизатора з автоматичним розгортанням віртуальних вузлів," *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Радіoeлектроніка та телекомунікації*, № 885, с. 22 - 30, 2017. (Index Copernicus, Google scholar)

7. В.І Романчук, М.І. Бешлей, О.М. Панченко, А.В. Поліщук, "Метод узгодженого розв'язання завдань балансування різнопріоритетного навантаження між чергами мережевих пристроїв," *Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку*, №2(50), с. 48-57, 2018. (Index Copernicus, Google scholar)

8. І.О! Кагало, М.І. Бешлей, М.М. Климаш, О.М. Панченко, Г.В. Бешлей, "Адаптивне формування багаторівневої радіоструктури інтегрованих мереж LTE/Wi-Fi," *Телекомунікаційні та інформаційні технології*, № 3(64), с.24-38, 2019. (Index Copernicus, Google scholar)

Публікації у матеріалах конференцій, що входять до складу міжнародних наукометричних баз даних:

9. M. Beshley, A. Pryslupskiy, O. Panchenko and M. Seliuchenko, "Dynamic Switch Migration Method Based on QoE- Aware Priority Marking for Intent-Based Networking," *2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in*

Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine, 2020, pp. 864-868. (Scopus/Web of science)

10. I. Kahalo, H. Beshley, M. Beshley and O. Panchenko, "Enhancing QoS and Energy Efficiency of LTE/LTE-U/Wi-Fi Integrated Network Based on Adaptive Technique for Radio Structure Formation," *2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, Lviv, Ukraine, 2019, pp. 1167-1170. (Scopus/Web of science)

11. M. Beshley, A. Pryslupskyi, O. Panchenko and H. Beshley, "SDN/Cloud Solutions for Intent-Based Networking," *2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT)*, Lviv, Ukraine, 2019, pp. 22-25. (Scopus/Web of science)

12. A. Pryslupskyi, O. Panchenko, M. Beshley and M. Seliuchenko, "Improvement of Multiprotocol Label Switching Network Performance using Software-defined Controller," *2019 IEEE 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM)*, Polyana, Ukraine, 2019, pp. 106-109. (Scopus/Web of science)

13. H. Beshley, O. Panchenko and M. Kyryk, "Investigation and Implementation of Methods for Controlling the Intensity of Flow of Information Protocols," *2018 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo)*, Odessa, Ukraine, 2018, pp. 1-5. (Scopus/Web of science)

14. H. Beshley, M. Kyryk, M. Beshley and O. Panchenko, "Method of Information Flows Engineering and Resource Distribution in 4G/5G Heterogeneous Network for M2M Service Provisioning," *2018 IEEE 4th International Symposium on Wireless Systems within the International Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS-SWS)*, Lviv, 2018, pp. 229-233. (Scopus/Web of science)

15. M. Beshley, M. Seliuchenko, O. Panchenko, O. Zyuzko and I. Kahalo, "Experimental performance analysis of software-defined network switch and controller," *2018 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, Lviv-Slavske, Ukraine, 2018, pp. 282-286. (Scopus/Web of science)

16. O. Panchenko, A. Polishuk, M. Seliuchenko and M. Beshley, "Method for adaptive client-oriented management of quality of service in integrated SDN/CLOUD networks," *2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*, Kharkov, 2017, pp. 452-455. (Scopus/Web of science)

17. M. Klymash, H. Beshley, O. Panchenko and M. Beshley, "Method for optimal use of 4G/5G heterogeneous network resources under M2M/IoT traffic growth conditions," *2017 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo)*, Odessa, 2017, pp. 1-5. (Scopus/Web of science)

18. V. Romanchuk, M. Beshley, O. Panchenko and P. Arthur, "Design of software router with a modular structure and automatic deployment at virtual nodes," *2017 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT)*, Lviv, 2017, pp. 295-298. (Scopus/Web of science)

19. M. Beshley, M. Seliuchenko, O. Panchenko and A. Polishuk, "Adaptive flow routing model in SDN," *2017 14th International Conference The Experience of Designing*

and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM), Lviv, 2017, pp. 298-302. (Scopus/Web of science)

20. M. Seliuchenko, M. Beshley, O. Panchenko and M. Klymash, "Development of monitoring system for end-to-end packet delay measurement in software-defined networks," *2016 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET)*, Lviv, 2016, pp. 667-670. (Scopus/Web of science)

21. M. Seliuchenko, O. Lavriv, O. Panchenko and V. Pashkevych, "Enhanced multi-commodity flow model for QoS-aware routing in SDN," *2016 International Conference Radio Electronics & Info Communications (UkrMiCo)*, Kiev, 2016, pp. 1-3. (Scopus/Web of science)

Публікації у матеріалах міжнародних та всеукраїнських конференцій:

22. М.І. Бешлей, О.М. Панченко, І.В. Демидов, М.О Селюченко, "Метод динамічного управління якістю послуг в інтегрованій SDN/CLOUD мережі," *Фізико-технологічні проблеми передавання, обробки та зберігання інформації в інфокомунікаційних системах: матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції*, м. Чернівці, 2016 р., с. 74-75.

23. М.І. Бешлей, М.М. Климаш, О.М. Панченко, Г.В. Бешлей, "Розроблення системи моніторингу та аналізу трафіку інформаційно телекомунікаційної мережі для виявлення аномалії і запобігання атак," *I міжнародна науково-практична конференція "Проблеми кібербезпеки інформаційно телекомунікаційних систем" (PCSITS)*, м. Київ, 2018 р., с. 201-203.

24. М.М. Климаш, М.О Селюченко, О.М. Панченко, "Система моніторингу пакетної затримки в програмно-конфігурованих телекомунікаційних мережах," *X Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми телекомунікацій» ПТ-2016: збірник матеріалів конференції*, м. Київ, 2016р., с. 140-142.

4.7. Апробація основних результатів дослідження на конференціях, симпозиумах, семінарах тощо

Основні наукові результати і положення дисертації представлені, доповідались та обговорені на 16-ох міжнародних і державних науково-технічних конференціях та наукових семінарах: Міжнародних науково-технічних конференціях «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій, комп'ютерної інженерії» (м. Львів-Славське 2016, 2018, 2020 pp.); IEEE Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (м. Львів, 2019 р.); International IEEE Conferences on Advanced Information and Communication Technologie (м. Львів, 2017, 2019 pp.); Міжнародних науково-технічних конференціях «Досвід розробки та застосування приладо-технологічних САПР в мікроелектроніці» (м. Львів-Поляна, 2017, 2019 pp.); Міжнародних конференціях з інформаційно-телекомунікаційних технологій та радіоелектроніки (м. Київ 2016р., м. Одеса, 2017, 2018 pp.); IEEE 4th International symposium on wireless systems within the international conferences on intelligent data acquisition and advanced computing systems (м. Львів, 2018р.); 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (м. Харків 2017); 5-ій міжнародній науково-практичній конференції «Фізико-технологічні проблеми передавання, обробки та зберігання інформації в інфокомунікаційних системах» (2016 р., м. Чернівці); 1-й міжнародній науково-

практичній конференції “Проблеми кібербезпеки інформаційно телекомунікаційних систем” (2018 р., м. Київ); 10-й міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми телекомунікацій» (2016 р., м. Київ). Крім цього, дисертаційна робота у повному обсязі представлена на наукових семінарах кафедри телекомунікацій Національного університету «Львівська політехніка».

4.8. Наукове значення виконаного дослідження із зазначенням можливих наукових галузей та розділів програм навчальних курсів, де можуть бути застосовані отримані результати

Дисертаційна робота присвячена розв’язанню науково-практичного завдання забезпечення замовленої якості обслуговування в умовах обмеженості мережевих ресурсів шляхом розроблення нової моделі програмно-конфігурованої сервісно-орієнтованої мережі з адаптивним управлінням ресурсами та якістю обслуговування, яка базується на удосконалених методах та алгоритмах адаптивного встановлення пріоритетів послуг, вибору сервера обслуговування та маршруту передавання даних.

Наукове значення роботи полягає у розробленні моделі програмно-конфігурованої сервісно-орієнтованої телекомунікаційної мережі з можливістю адаптивного управління ресурсами та якістю обслуговування; удосконаленні методу вимірювання затримки передавання даних між будь-якою парою комутаторів та вздовж усього шляху в програмно-конфігурованій мережі; розвитку методу маршрутизації потоків даних в програмно-конфігурованих сервісно-орієнтованих мережах; розвитку математичної моделі кореляції рівня задоволеності користувача за оцінкою QoE з технічними параметрами QoS.

Наукові та практичні результати виконаних досліджень використані в навчальному процесі Національного університету «Львівська політехніка» для модернізації курсу лекцій з дисципліни «Технології інформаційно-комунікаційних мереж».

4.9. Практична цінність результатів дослідження із зазначенням конкретного підприємства або галузі народного господарства, де вони можуть бути застосовані

1. Удосконалено метод вимірювання затримки передавання даних в програмно-конфігурованих мережах, що дало можливість у високонавантажених каналах для низько пріоритетних потоків покращити точність моніторингу до 70%.

2. Розроблено алгоритм адаптивної пріоритезації сервісів телекомунікаційної мережі, що дало змогу в умовах обмеженості мережних ресурсів підвищити рівень якості сприйняття відео сервісу реального часу, визначений на основі суб’єктивної п’ятибальної експертної оцінки QoE, згідно якої більше значення відповідає кращому рівню якості сприйняття. Зокрема, без використання алгоритму адаптивної пріоритезації, рівень отриманої якості становить QoE – 1.8, а з розробленим алгоритмом пріоритезації, рівень якості сприйняття відеосервісу становить QoE – 3.3.

3. Комплексне використання методу адаптивної багатокритеріальної маршрутизації та пріоритезації потоків даних дало змогу забезпечити високий рівень якості сприйняття відео сервісу реального часу в умовах перевантаження окремих елементів мереж, зокрема без використання комплексного підходу рівень отриманої

якості становив QoE – 1.8, а з використанням методу адаптивної багатокритеріальної маршрутизації та пріоритезації потоків даних рівень якості сприйняття відеосервісу становив QoE – 4.2.

4. Створено скрипт файл для конфігурації різного стану характеристик каналів зв'язку програмно-конфігурованої мережі шляхом штучного маніпулювання такими параметрами, як пропускна здатність каналу, затримка, втрати пакетів та розмір черги, що забезпечуватимуться в процесі функціонування мережі. Використання розробленого скрипт файлу дало змогу знайти кореляцію між параметрами якості обслуговування та якістю сприйняття сервісу кінцевими користувачами.

5. Розроблено прототип програмно-конфігурованої мережі на базі мікроконтролерних платформ, що дало змогу підтвердити на практиці ефективність запропонованих рішень та дослідити вплив технічних параметрів якості обслуговування в процесі передавання відео потоків реального часу на рівень якості сприйняття сервісу, визначений методом експертного оцінювання за 5-бальною шкалою.

Основні результати дисертаційної роботи використано і впроваджено з метою підвищення параметрів якості обслуговування та гнучкості управління ресурсами в телекомунікаційних корпоративних мережах ТОВ ВТФ «Контех», ТОВ «Телекомунікаційна компанія», що підтверджено актами впровадження.

4.10. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення

Робота складається з переліку умовних скорочень, вступу 4 розділів, висновків, списку використаних джерел і 3 додатків. Загальний обсяг роботи складає 200 сторінок друкарського тексту, із них 8 сторінок вступу, 143 сторінки основного тексту, 83 рисунка, 6 таблиць, список використаних джерел із 150 найменувань, 3 додатки на 11 сторінках. Додатки містять обрані початкові коди, акти впровадження результатів дисертаційної роботи, а також список праць автора.

За структурою, мовою та стилем викладення дисертаційна робота відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України. Загалом дисертаційна робота написана грамотно, технічною мовою. Матеріали досліджень подано логічно, послідовно та доказово.

У ході обговорення дисертації до неї не було висунуто жодних зауважень щодо самої суті роботи.

5. З урахуванням зазначеного,

На фаховому семінарі кафедри телекомунікацій ухвалили:

5.1. Дисертація Панченка Олексія Михайловича «Адаптивне управління ресурсами та якістю обслуговування у програмно-конфігурованих сервісно-орієнтованих телекомунікаційних мережах» є завершеною науковою працею, у якій розв'язано конкретне наукове завдання забезпечення замовленої якості обслуговування в умовах обмеженості мережевих ресурсів шляхом розроблення нової моделі програмно-конфігурованої сервісно-орієнтованої мережі з адаптивним управлінням ресурсами та якістю обслуговування, яка базується на удосконалених методах та алгоритмах адаптивного встановлення пріоритетів послуг, вибору сервера обслуговування та

маршруту передавання даних, що має важливе значення для галузі знань 17 «Електроніка та телекомунікації».

5.2. У 24 наукових публікаціях повністю відображені основні результати дисертації, з них 3 статті у наукових фахових виданнях України, 2 статті у наукових періодичних виданнях інших держав та 3 статті у виданнях України, які входять до міжнародних наукометричних баз.

5.3. Дисертація відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. № 167).

5.4. З урахуванням наукової зрілості та професійних якостей Панченка О.М. дисертація «Адаптивне управління ресурсами та якістю обслуговування у програмно-конфігурованих сервісно-орієнтованих телекомунікаційних мережах» рекомендується для подання до розгляду у спеціалізовану вчену раду.

За затвердження висновку проголосували:

за	24	<i>Двадцять чотири</i>
проти	-	<i>(немає)</i>
утримались	-	<i>(немає)</i>

Головуючий на засіданні фахового семінару,
зав. кафедри телекомунікацій, д.т.н.,
професор


Климаш М.М.

Рецензенти:

д.т.н., доцент, професор кафедри
телекомунікацій


Кайдан М.В.

к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедри
автоматизованих систем управління


Дронюк І.М.

Відповідальний у ІТРЕ за атестацію
PhD

к.т.н., докторант, старший викладач
кафедри телекомунікацій


Бешлей М.І.

"08" грудня 2020 р.