РОЗДІЛ 9. МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ
ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІСУЧАСНА ІНФРАСТРУКТУРА КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
У БІЗНЕС-СЕРЕДОВИЩІ: МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДУ «ЖИВОЇ МІГРАЦІЇ»MODERN INFRASTRUCTURE OF COMMUNICATION TECHNOLOGIES
IN BUSINESS: MODELING OF THE METHOD OF «LIVING MIGRATION»

УДК 330.341

DOI: <https://doi.org/10.32843/infrastruct53-32>**Мороз О.В.**к.е.н., доцент кафедри
бізнес-адміністрування,
маркетингу і туризму
Кременчуцький національний університет
імені Михайла Остроградського**Латишев К.О.**к.е.н., доцент кафедри
бізнес-адміністрування,
маркетингу і туризму
Кременчуцький національний університет
імені Михайла Остроградського**Герасимчук В.В.**старший викладач кафедри
бізнес-адміністрування,
маркетингу і туризму
Кременчуцький національний університет
імені Михайла Остроградського**Moroz Olena**Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi
National University**Latyshev Kostiantyn**Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi
National University**Gherasymchuk Viktorija**Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi
National University

В умовах зростання оператори мережі постійно розширюють та вдосконалюють свою мережеву інфраструктуру, у результаті чого збільшуються капітальні та операційні витрати. У статті обґрунтовано можливість ринкової комерціалізації використання технологій живої міграції потоку трафіку, що дає змогу наділити продукт унікальними характеристиками. Проаналізовано існуючі підходи до вирішення завдання балансування навантаження мережі мікрооператорів 5G. Виявлено низку переваг методу живої міграції, а саме можливість його застосування для мережі мікрооператора та ефективного використання ресурсів мережі. За результатами експерименту встановлено, що метод живої міграції має кращі показники значення μO_num (68,1% потоку трафіку), ніж у механізмі MLF (29,8% потоку трафіку). У роботі доведено, що механізм живої міграції може визначати пріоритет потоку трафіку користувача відповідно до серверів у зоні μO , а отже, є доцільним для застосування з погляду оптимізації розподілення потоку трафіку.

Ключові слова: комунікації, мережна інфраструктура, метод «живої міграції», 5G.

В современных условиях операторы сети постоянно расширяют и совершенствуют свою сетевую инфраструктуру, в результате чего увеличиваются капитальные и операционные расходы. В статье обоснована возможность рыночной коммерциализации использования технологий живой миграции потока трафика, которая позволяет наделять продукт уникальными характеристиками. Проанализированы существующие подходы к решению задачи балансировки нагрузки сети микрооператоров 5G. Выявлен ряд преимуществ метода живой миграции, а именно возможность его применения для сети микрооператора и эффективное использование ресурсов сети. По результатам эксперимента установлено, что метод живой миграции имеет лучшие показатели значения μO_num (68,1% потока трафика), чем у механизма MLF (29,8% потока трафика). В работе доказано, что механизм живой миграции может определять приоритет потока трафика пользователя в соответствии с серверами в зоне μO , следовательно, целесообразен для применения с точки зрения оптимизации распределения потока трафика.

Ключевые слова: коммуникации, сетевая инфраструктура, метод «живой миграции», 5G.

In order to meet data and service requirements, network operators are constantly expanding and improving their network infrastructure, resulting in increased capital and operating costs. However, due to intense competition and falling prices, the average income per user does not increase proportionally, which leads to a decrease in return on investment. Thus, to reduce costs and increase revenue, mobile networks need to make the next evolutionary leap towards 5G, which now applies not only to the mobile border, but also to the core network. The 5G micro-operator service architecture must also be developed together with various technologies such as SDN and NFV. SDN abstracts network architecture by separating network management and redirection functions, allowing network management to become directly programmable and the underlying infrastructure to be abstracted for applications and network services. The interaction between SDN and NFV allows the 5G network to abstractly build the system infrastructure and further increase network flexibility. Therefore, the article substantiates the possibility of market commercialization of the use of technologies of live migration of traffic flow, which allows to give the product unique characteristics. The existing approaches to the solution of the problem of load balancing of the network of 5G micro operators are analyzed. A number of advantages of the live migration method have been identified, namely the possibility of its application for the micro operator's network and efficient use of network resources. According to the results of the experiment, it was found that the method of live migration has better values μO_num (68.1% of traffic flow) than the mechanism of MLF (29.8% of traffic flow). It is proved that the mechanism of live migration can determine the priority of the user traffic flow according to the servers in the zone μO , and therefore it is expedient to apply in terms of optimizing the distribution of traffic flow. The proposed method should increase the utilization of network resources and traffic flow efficiency and lead to a higher level of experience quality (QoE) for network users.

Key words: communications, network infrastructure, live migration method, 5G.

Постановка проблеми. Мережі комунікації розвивалися за допомогою трьох головних стрибків поколінь, що сліднують за технологічними тенденціями та постійно розвиваються вимогами користувачів. Із такою еволюцією та Інтернетом,

що перетворюються на Інтернет-речі, поняття замовника змінилося від лише людських клієнтів до теперішнього часу, включаючи автомобілі, датчики, електронні предмети споживачів, лічильники енергії тощо.

Завдяки такій різноманітній базі клієнтів мобільна мережа повинна не тільки керувати постійно зростаючим обсягом даних, а й водночас забезпечувати належне виконання запитів на обслуговування клієнтів мережею, відповідаючи відповідним вимогам щодо якості обслуговування або якості досвіду.

Для того щоб відповідати вимогам щодо даних та послуг, оператори мережі постійно розширюють та вдосконалюють свою мережеву інфраструктуру, у результаті чого збільшуються капітальні та операційні витрати. Однак, зважаючи на інтенсивну конкуренцію та падіння цін, середній дохід на одного користувача пропорційно не збільшується, що призводить до зниження прибутку від інвестицій. Таким чином, щоб зменшити витрати та збільшити дохід, мобільним мережам потрібно зробити наступний еволюційний стрибок у напрямі 5G, який зараз стосується не лише мобільної мережі, а й основної мережі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В умовах сьогодення велика кількість нових операторів прийняли рішення звернутися до сервісу дрібних стільникових та мікрокомунікаційних мереж, які охоплюють приміщення після настання ери 5G, зміни звичок користувачів під час виходу в Інтернет та збільшення вимог до додатків. Оператори зв'язку мають змогу надавати послуги через різні мережі доступу, такі як 3G, 4G, 5G і навіть Wi-Fi [1–3].

Розвиток прикладних сервісів 5G здійснюватиметься значною мірою в Інтернеті речей (IoT) і заохочуватиме новий ринок зв'язку перейти до більш вертикального підрозділу [4; 5].

Результатом цього стане формування різних нових сценаріїв обслуговування прикладних програм та більш різноманітних вимог до мереж. Однак що стосується телекомунікацій, то, незважаючи на те що зараз існує глобально узгоджена вимога щодо IoT для таких символів, як швидкість передачі, ємність, охоплення та безпека, все ще є місце для бізнес-моделі від 5G до самовдосконалювання.

Мобільна широкосмугова мережа 5G робить акцент на малих стільниках/базових станціях, як посилити покриття в приміщенні, забезпечуючи швидше обслуговування користувачів та зменшення затримки в передачі мережі, що все є великим викликом для операторів зв'язку.

Архітектура обслуговування 5G мікрооператора також повинна розроблятися разом із різними технологіями, такими як SDN та NFV. SDN абстрагує архітектуру мережі шляхом роз'єднання функцій управління мережею та передачі, що дає змогу мережевому управлінню стати безпосередньо програмованим, а базову інфраструктуру абстрагувати для додатків та мережевих служб [6].

Постановка завдання. Метою дослідження є обґрунтування методу живої міграції трафіку («розумна міграція»), який не допускає перенавантаження одного ресурсу і простою інших.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Взаємодія між SDN та NFV дає змогу мережі 5G абстрактно побудувати системну інфраструктуру та додатково підвищити гнучкість мережі, розділити вертикальну систему на кілька нарізаних конструкторських блоків та побудувати мережу, яка підключається, програмується й є віртуальною. Оператор має можливість заздалегідь використовувати технологію нарізки мережі для віртуалізації і гнучко ділити фізичну мережу на кілька незалежних та відокремлених мереж μO відповідно до різних сценаріїв використання.

Що стосується проектування інфраструктури, то як основа використовуються технології SDN та NFV та поєднуються технології нарізки мережі та тунелювання для побудови мережевої інфраструктури для μO . Така інфраструктура дає змогу користувачам різних μO об'єднатися через тунельну технологію на умовах подальшої реалізації швидкого підключення до мережі з метою ефективного підвищення рівня взаємопов'язаності мереж.

Шаблон μO показано на рис. 1. Технологія нарізки мережі реалізує логічний розділ мереж мікрооператорів через OpenVirtex. З'єднання між основною мережею та мікрооператором здійснюється за допомогою тунелю, побудованого через прикордонний шлюз SDN (BG).

Інтернет-хмарний центр обробки даних та центр мікроданих будуються інфраструктурою NFV, визначеною ETSI, з метою заощадження витрат на інвестиції в обладнання. Ціллю контролера SDN є використання OpenFlow для побудови зв'язку між BG на межі основної мережі та BG на межі мережі μO . Після того як контролер SDN розпочинає виконання відповідності і конкатенації між прохідними мережами, мережа μO може створити з'єднання через тунель та основну мережу. μO може продовжувати добудову віртуальної мережі за допомогою технології віртуальної нарізки OpenVirtex, що дає змогу користувачам μO отримувати доступ до даних сусіднього мікроцентру обробки даних.

Користувачі також можуть через тунелі підключитися до хмарного центру обробки даних в Інтернеті, щоб отримати доступ до послуги мережі конкретної програми. Запропонований шаблон архітектури поєднує у собі нарізку та тунелювання мережі у цілях реалізації моделі зв'язку для μOs , а також додатково інтегрує технологію контролю пропускної здатності, яка застосовується до програми пропускної здатності зв'язку мережі μO .

У відповідь на вимогу розподілу мережевих ресурсів μO , що дає змогу користувачам отримати доступ до мережевих ресурсів, які знаходяться

Рис. 1. Шаблон μO

поблизу, доцільним вважаємо застосування механізму балансування навантаження, який слугуватиме орієнтиром під час визначення напрямку потоків трафіку SDN.

Дана модель використовується низкою компаній для розміщення програмного забезпечення з використанням хмарної інфраструктури з метою масштабування інформаційних систем, а також вирішення проблем пікових навантажень і простою ресурсів. Вона повинна забезпечувати автоматичне балансування навантаження фізичних серверів, не допускаючи при цьому перевантаження одного сервера і браку ресурсів для іншого.

Дана система повинна забезпечувати таке:

- безперервність роботи додатків, при цьому кінцевий користувач не повинен знати, у який спосіб вона це робить, а лише отримувати якісний сервіс без будь-яких перевантажень;

- процес міграції, котрий повинен бути цілеспрямованим і забезпечувати оптимізацію стану кластера;

- процес планування міграції, що передбачає обов'язкове врахування того, що два контейнери одного оточення не можуть бути розташовані на одному фізичному сервері, тому вона повинна підтримувати високий рівень доступності;

- однією з важливих вимог до міграції є мінімальний час її виконання, оскільки тривала міграція може негативно вплинути на стан системи;

- система повинна забезпечувати повноцінний захист від зациклення, тобто від нескінченної міграції одного і того самого пакету;

- обов'язковим має бути забезпечення захисту від збоїв і робота в кластерному режимі, що особливо важливо за множинних міграцій.

Запропонований метод має збільшити коефіцієнт використання мережевих ресурсів та ефективність потоку трафіку і призведе до більш високого рівня якості досвіду (QoE) для користувачів мережі (рис. 2).

Рішення про необхідність міграції, а також про те, що й куди має мігрувати, приймає блок

Рис. 2. Алгоритм методу живої міграції

управління. Після вибору кандидатів для міграції вони поміщаються в розподілену чергу, яка обробляється спеціальним процесом. Цей процес аналізує інформацію про кількість елементів в черзі і на основі цієї інформації вибирає елемент, який підлягає міграції. Процес фізичної міграції є синхронним без будь-яких розривів або повернень, при цьому існує спеціальний механізм, який стежить за тим, щоб не було помилок і затримок.

Основне завдання процесу полягає у тому, щоб забезпечити вибір кандидата для міграції та здійснити його переміщення на певний фізичний сервер так, щоб оптимізувати стан системи. Таким чином, має місце завдання багатовимірної оптимізації.

Визначаються спеціальні правила, яким має задовольняти оптимальне рішення. Існують жорсткі правила, які не можуть бути порушені за жодних обставин, і м'які правила, якими можна знехтувати в деяких випадках. Окрім цього, визначаються типи рішень задачі:

- можливі рішення – рішення, які досягаються з порушенням жорстких правил (погані рішення);
- здійсненні рішення – рішення, які не порушують жорстких умов, але не виконують частину м'яких;
- оптимальні рішення – рішення, які виконують обидва типи умов;
- кращі рішення – це оптимальні рішення, розраховані за мінімальний час.

Жорсткі обмеження:

1. Кількість ресурсів системи повинна бути достатньою для переміщення контейнера. Окрім цього, потрібно враховувати, що пам'яті повинно бути більше, ніж потрібно контейнеру.
2. Контейнер не може мігрувати на власний фізичний сервер.
3. На одному фізичному сервері не повинні розміщуватися контейнери одного і того самого типу. Ця умова гарантує, що в разі збою системи буде втрачено мінімальну кількість даних.

М'які обмеження:

1. Мігрувати повинні найбільш завантажені з погляду оперативної пам'яті і процесора контейнери.
2. Мігрувати повинні найлегші контейнери (контейнери, які споживають найменше жорсткого диску).
3. Цільовий фізичний сервер повинен бути найменш завантаженим.

Для того щоб правильно підібрати сервер, на який здійснюватиметься міграція, необхідно оцінити тренд зміни динаміки використання ресурсів вибраного сервера з урахуванням навантаження, яке створює мігруючий контейнер.

Метод контролю достатності ресурсів системи для обробки вхідної навантаження (вхідні дані):

1. Інтервал T_1 – інтервал часу, протягом якого проводитиметься аналіз статистики.

2. Інтервал dt – інтервал дискретизації часу (малий інтервал).

3. Дані системи моніторингу про кількість споживаних ресурсів (табл. 1).

Таблиця 1

Дані системи моніторингу

t	$t_0 - dt$	$t_0 - 2dt$	$t_0 - 3dt$	...	T_1
X	$x(t)$	$x(t)$	$x(t)$		

4. Інтервал часу між перевітками на необхідність міграції.

5. Максимально допустима кількість досліджуваного ресурсу, який доступний на сервері.

На рис. 3 x_0 – кількість ресурсу, який споживається в момент часу t_0 , $x = at + b$ – пряма, побудована на основі даних статистики на основі метода найменших квадратів; точки тренда – це можливі значення необхідного ресурсу для обслуговування системи протягом наступних часів T . Завдання – оцінити ймовірність того, що випадковий процес вийде за межі допустимого для системи ресурсу M .

Алгоритм методу включає у себе три основні кроки:

1. Аналіз статистичних даних за час $(t_0 - T_1)$, де t_0 – поточний час, для якого виконується розрахунок. На основі статистичних даних системи моніторингу для пари значень (t, x) за методом найменших квадратів розраховується оцінка коефіцієнта a для прямої, що апроксимує значення вхідного навантаження з табл. 1 $x = at + b$.

2. Оцінити ймовірність $P_{\text{Того}}$, що протягом заданого часу T кількість необхідного ресурсу перевищить наявний ресурс M . Оцінка ймовірності розраховується за формулами:

$$P_T = P(\bar{x} + 3\sigma > M). \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=0}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (2)$$

Рис. 3. Побудова тренду навантаження

$$\begin{aligned}
p_0 &= \frac{1-\beta^{m-l}}{A_n(\alpha, \beta)}, \beta \neq 1, \alpha = \lambda/\mu, \beta = \lambda/n & p_{n+k} &= \frac{\alpha^n \beta^k - \beta^m}{n! (1-\beta^{m-l})} p_0 \quad (k = \overline{l+1, m-1}) \\
p_k &= \frac{\alpha^k}{k!} p_0 \quad (k = \overline{1, n}) & p_{n+m} &= \frac{\alpha^n (1-\beta) \beta^m}{n! A_n(\alpha, \beta)} \quad (k = \overline{n+l+1, n+m-1}) \\
p_{n+k} &= \frac{\alpha^n}{n!} \beta^k p_0 \quad (k = \overline{1, l}) & & \text{для } \beta = 1 \text{ см. дис. роботи}
\end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
A_n(\alpha, \beta) &= (1 - \beta^{m-l}) \sum_{k=0}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^n}{n!} \left(\frac{\beta - \beta^{m-l+1}}{1 - \beta} - (m-l) \beta^{m+1} \right) \\
\begin{cases} 4 * \left(\sum_{i=1}^n i v_k^g p_i + n v_k^g \sum_{i=n+1}^s p_i \right) \leq V^g, g = \overline{1, G} \\ \sum_{i=1}^s p_i \leq R \end{cases} & \quad (4)
\end{aligned}$$

де x_i – навантаження на систему в поточний час; $\bar{x}$ – середнє значення зайнятості ресурсу.

3. На підставі отриманої оцінки прийняти рішення.

Математична модель задачі вибору оптимального навантаження вхідного потоку:

Вхідні дані:

n – кількість каналів для однозначного обслуговування заявок;

μ – інтенсивність обслуговування заявки;

v_k^g – обсяг g -го ресурсу, необхідний для обслуговування у вузлі однієї заявки, ($g = (1, G)$) за одночасного обслуговування k заявок $k = (1, n)$;

Vg – доступний обсяг ресурсу g -го ресурсу, який спільно використовується заявками;

m – допустима кількість запитів у черзі на обслуговування;

R – відсоток заявок, які обслуговуються у системі не більше допустимого часу затримки, визначається експертами;

l – кількість запитів у черзі, до досягнення якої блокується надходження запитів до системи відповідно до алгоритмів раннього упередження перевантажень.

Вихідні дані:

λ – рекомендоване значення для інтенсивності вхідного потоку, що буде спрямоване на обслуговування у n -канальний обслуговуючий пристрій.

Математична модель задачі пошуку максимального навантаження, що забезпечить виконання умов на допустиму кількість ресурсів обслуговування.

$$\lambda \rightarrow \max \quad (5)$$

Метод короткострокового прогнозування навантаження:

Вхідні дані:

T_l – інтервал часу, для якого потрібен прогноз;
 λ_i – кількість заявок за 1 мс, ($i \in \overline{0, N}$), $N = T_{\text{інф}} / 1\text{мс}$, $\lambda_i \in \Lambda$, Λ – множина значень статистики кількості заявок, що надходили протягом часу $T_{\text{інф}}$ (спочатку задається, потім корегується на 2-му етапі методу) до початку здійснення прогнозу, $|\Lambda| = N$;

$T_{\text{прог}}$ – період прогнозування, час, після завершення якого запускається алгоритм прогнозування;

M – гранична кількість заявок, яка може бути обслужена за заданої конфігурації обслуговуючого пристрою;

P – ймовірність помилки прогнозування.

Вихідні дані:

$z \in \{0, 1\}$ – $z = 0$ не змінювати конфігурацію; $z = 1$ змінити конфігурацію.

Підготовчий етап: навчання системи на основі статистичних даних; пошук мінімального:

$T_{\text{інф}} \rightarrow \min$, для якого виконується обмеження:

$$\lambda_{T_{\text{прог}}} + 3\sigma^2 > M, \quad (6)$$

$\lambda_{T_{\text{прог}}}$ і σ^2 – розраховуються відповідно до основного етапу.

Основний етап:

Аналіз статистичних даних λ_i , за інтервал $T_{\text{інф}}$ часу, що передує моменту розрахунку. Побудова за методом найменших квадратів оцінок коефіцієнтів a та b :

$$\lambda = ai + b. \quad (7)$$

Розрахувати $\lambda_{T_{\text{прог}}} = a * T_{\text{прог}} + b$.

Якщо $\lambda_{T_{\text{прог}}} + 3\sigma^2 > M$, тоді $z = 0$, інакше $z = 1$.

Середовище запропонованого експерименту складається з декількох локальних мереж, керованих контролерами μO та центральними тунелями. Під час здійснення оцінки було застосовано метод моделювання мережі з деревоподібною топологією в Mininet та вимірювання накладних витрат, спричинених поділом мережевого перегляду.

Mininet використовується для імітації мережі μO , і такі тунелі можуть бути побудовані між різними зонами μO для швидкого обміну інформацією. Описаний експеримент включає два гіпервізори, один OpenVirtex та кілька контролерів SDN, показаних на рис. 4. Топологія побудована Mininet у VM в гіпервізорі, а ділянки μO об'єднані за допомогою технології тунелювання.

OpenVirtex функціонує як система управління системою. IT-персонал може побудувати мережу

Рис. 4. Експериментальне середовище

для системи через мережевий інтерфейс, а бек-сервер мережевого інтерфейсу проаналізує операційну інформацію перед інтерпретацією її у OpenVirtex для створення команд із метою нарізки мережі. Вебсторінка використовує диспетчер сокетів і фрагментів для передачі інформації. Після того як менеджер зрізів отримає інформацію, він продовжить використовувати API OpenVirtex для створення мережевої нарізки для менеджера.

Нарізка мережі має широкий спектр застосувань відповідно до груп користувачів, типів служб додатків або різних вимог до ресурсів. У роботі використовується послуга регіоналізації як еталон для розрізання мережі та з'єднує однорідні сервери послуг регіоналізації за допомогою технології тунелювання для формування повного мережевого нарізання послуги регіоналізації.

Запропонований метод для балансування навантаження трафіку на вузлах мережі мікрооператора служить орієнтиром для визначення напрямку руху трафіку 5G μO і дає змогу потоку трафіку користувачів спрямовуватися на більш близький сервіс доступу μO для зменшення в мережі затримки передачі пакетів.

Із метою отримання доступу користувачів μO до сусіднього центру мікроданих або посилання на Інтернет-центр обробки даних для доступу до конкретного застосування мережевих послуг через тунелі доступними є три індикатори для визначення рівня якості прийняття рішень щодо розподілення потоку трафіку:

- μO_num представляє кількість доступних послуг в μO ;

- $near_mu_num$ відображає кількість разів, коли потік трафіку повинен отримувати доступ до служб поблизу μO , оскільки всі сервери в μO зайняті;

- $datacenter_num$ представляє кількість разів, коли потік трафіку повинен отримувати доступ до віддаленого центру обробки даних, оскільки сусідні μO всі зайняті.

Результати проведеного експерименту представлені на рис. 5. Значення μO_num запропонованого механізму живої міграції, очевидно, вище, ніж у механізму MLF. Це означає, що механізм живої міграції може визначати пріоритет потоку трафіку користувача відповідно до серверів у зоні μO .

За умови якщо сервер зайнятий, механізм живої міграції буде приймати рішення чи перенаправляти до служб сусідніх μO або Core Network вхідний потік, чи мігрувати існуючий у службах основного μO . Оскільки кількість запитів HTTP змінюється, використовується метод обчислення коефіцієнта розподілення.

$$Ratio = \frac{\mu O_num / near_mu_num / datacenter_num}{Total\ number\ of\ HTTP\ request} \quad (8)$$

За таких же експериментальних умов напрям потоку руху механізму живої міграції приймає рішення так:

- 68,1% потоку трафіку буде спрямовано на μO в поточній області для доступу до послуг;
- 28,7% потоку трафіку буде спрямовано на сусідні μO для доступу до послуг;
- лише 3,2% трафіку буде спрямовано до центру обробки даних для доступу до послуг.

Рис. 5. Порівняння результатів експерименту

Алгоритм MLF – це метод спрямування, заснований на завантаженні сервера, який спрямовує:

- 29,8% потоку трафіку до μO в поточній області для доступу до послуг;
- 32,7% потоку трафіку до сусіднього μO для доступу до послуг;
- 37,5% потоку трафіку в Інтернет-центр обробки даних для доступу до послуг.

Індикатор доступу до послуг μO у цій області показує, що механізм живої міграції займає 68,1% потоку трафіку, тоді як алгоритм MLF займає лише 29,8% потоку трафіку. Описаний експеримент підтверджує більш високий рівень ефективності застосування механізму живої міграції щодо розподілення потоку трафіку.

Щодо часу роботи та ефективності запропонованої моделі:

- 1) 74% відсотків прогнозованих даних виявилися вірними;
- 2) у 89% відсотках метод удаło запропонувати змінити конфігурацію обладнання;
- 3) час виконання алгоритму прогнозування становив 37 секунд;
- 4) час виконання міграції становив майже 1 секунду;
- 5) лише 1% відхилених запитів під час використання запропонованого методу порівняно з 5% за роботи методу аналога.

Висновки з проведеного дослідження. За результатами експерименту доведено, що метод живої міграції має кращі показники значення μO_num (68,1% потоку трафіку), ніж у механізмі MLF (29,8% потоку трафіку). У роботі доведено, що механізм живої міграції може визначати пріоритет потоку трафіку користувача відповідно до серверів у зоні μO , а отже, є доцільним для застосування з погляду оптимізації розподілення потоку трафіку.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. X. Huang Y. Li S. Tang, Q. Chen. Coexistence of cognitive small cell and WiFi system: a traffic balancing dual-access resource allocation scheme. *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2018, Article ID 4092681, 17 pages, 2018.
2. QoS aware radio access technology selection framework in heterogeneous networks using SDN / A. Raschellà et al. *Journal of Communications and Networks*. 2017. Vol. 19. № 6. P. 577–586.
3. Toward 5G: FiWi enhanced LTE-A hetnets with reliable low-latency fiber backhaul sharing and WiFi offloading / M. Beyranvand et al. *IEEE/ACM Transactions on Networking*. 2017. Vol. 25. № 2. P. 690–707.
4. Business case and technology analysis for 5G low latency applications / M.A. Lema et. al. *IEEE Access*. 2017. P. 5917–5935.
5. Deployment of IoT applications on 5G edge / P. Kiss et. al. in *Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Future IoT Technologies (Future IoT)*, pp. 1–9, Eger, Hungary, January 2018.
6. Bouras C., Kollia A., Papazois A. SDN and NFV in 5G: Advancements and challenges. in *Proceedings of the 20th Conference on Innovations in Clouds, Internet and Networks, ICIN*. 2017, pp. 107–111, France, March 2017.

REFERENCES:

1. X. Huang Y. Li, S. Tang Q. (2018) Chen. Coexistence of cognitive small cell and WiFi system: a traffic balancing dual-access resource allocation scheme. *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2018, Article ID 4092681, 17 pages, 2018.
2. QoS aware radio access technology selection framework in heterogeneous networks using SDN / A. Raschellà et al. *Journal of Communications and Networks*. 2017. Vol. 19. № 6. P. 577–586.
3. Toward 5G: FiWi enhanced LTE-A hetnets with reliable low-latency fiber backhaul sharing and WiFi offloading / M. Beyranvand et al. *IEEE/ACM*

Transactions on Networking. 2017. Vol. 25. № 2. P. 690–707.

4. Business case and technology analysis for 5G low latency applications / M.A. Lema et. al. *IEEE Access*. 2017. P. 5917–5935.

5. Deployment of IoT applications on 5G edge / P. Kiss et. al. in *Proceedings of the 2018 IEEE Interna-*

tional Conference on Future IoT Technologies (Future IoT), pp. 1–9, Eger, Hungary, January 2018.

6. Bouras C., Kollia A., Papazois A. (2017) SDN and NFV in 5G: Advancements and challenges. in *Proceedings of the 20th Conference on Innovations in Clouds, Internet and Networks, ICIN*, pp. 107–111, France, March 2017.