

К. С. Дмитрук, О. В. Касілов

Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, Україна

МЕТОД АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ ТРАФІКОМ У БАГАТОРІВНЕВИХ БЕЗДРОТОВИХ СИСТЕМАХ

Анотація. Актуальність. Сучасні багаторівневі бездротові системи функціонують в умовах стохастичних коливань навантаження, різномірності потоків та взаємозалежності сенсорного, проміжного MESH- і магістрального рівнів. Традиційні статичні механізми керування трафіком не забезпечують стабільності роботи мережі в пікових режимах, що призводить до локальних перевантажень, зростання затримок, довжин черг і втрат пакетів. Це зумовлює необхідність розроблення адаптивних методів керування, здатних у режимі реального часу реагувати на зміни інтенсивності потоків і забезпечувати гарантовані показники якості обслуговування (QoS). **Об'єкт дослідження:** процеси керування трафіком у багаторівневих бездротових системах за умов змінного навантаження. **Мета статті:** розроблення та дослідження методу адаптивного керування трафіком, що забезпечує стабілізацію показників QoS шляхом оптимального перерозподілу потоків між рівнями мережі на основі оцінювання їх поточного стану. **Результати дослідження.** У роботі запропоновано метод, що ґрунтується на динамічному визначенні ефективних інтенсивностей потоків, оцінюванні завантаження окремих рівнів і формуванні керуючих дій відповідно до цільової функції мінімізації перевантажень. Розроблено математичну модель, яка формалізує взаємодію рівнів мережі та дозволяє аналізувати її поведінку за різних сценаріїв навантаження. Імітаційне моделювання в середовищі OMNeT++ підтвердило здатність методу зменшувати затримку, довжину черг і втрати пакетів у періоди підвищеної інтенсивності. Інтегральний виграш за показниками QoS становив у середньому 20–30 %, а в пікові інтервали досягав 30–32 %, що свідчить про ефективність адаптивного перерозподілу потоків у критичних режимах роботи. **Висновки.** Показано, що стабільність багаторівневих бездротових систем визначається не лише інтенсивністю трафіку, а й здатністю мережі адаптивно реагувати на його коливання. Запропонований метод забезпечує згладжування пікових навантажень, підвищує структурну стійкість системи та покращує показники QoS, що робить його перспективним для інтеграції в протокольні стеки мереж наступного покоління. Сфера використання отриманих результатів: сенсорні мережі, MESH-архітектури, багаторівневі бездротові системи, IoT-платформи, мультисервісні мережі 5G/6G, задачі оптимізації керування трафіком та забезпечення QoS.

Ключові слова: бездротова система, керування трафіком, MESH-архітектура, черги, потоки, навантаження, затримка, QoS.

Вступ

Постановка проблеми. Багаторівневі бездротові системи сучасного покоління характеризуються високою динамічністю потоків даних, різномірністю трафіку та наявністю взаємозалежних рівнів передавання інформації. Зростання кількості сенсорних пристроїв, використання проміжних MESH-структур та навантаження на магістральні канали призводять до необхідності удосконалення механізмів керування трафіком, здатних реагувати на змінні умови в реальному часі [1]. За відсутності відповідної адаптації система часто переходить у режими локальних перевантажень, що знижує ефективність роботи та погіршує ключові показники якості обслуговування.

Виникає потреба у створенні методів, які зможуть забезпечити стабільність мережі шляхом оптимального розподілу потоків між рівнями та своєчасної реакції на зміни інтенсивності. Такий підхід дозволить не лише зменшити затримку та коливання параметрів черги, а й забезпечити рівномірне використання ресурсів мережі при збереженні її структурної та функціональної стійкості.

Із розвитком інфокомунікаційних технологій та збільшенням навантаження на бездротові мережі стає очевидним, що традиційні статичні механізми керування трафіком вже не здатні забезпечувати необхідну якість обслуговування [2]. Сучасні системи

працюють у середовищах, де параметри навантаження можуть значно коливатися протягом коротких часових інтервалів, а наявність численних сенсорних вузлів створює нерівномірні потоки даних між рівнями. Це робить питання адаптивного керування трафіком одним з ключових у дослідженнях багаторівневих бездротових мереж.

Підвищення кількості прикладних сервісів, орієнтованих на передачу чутливої до затримок інформації, вимагає забезпечення гарантованих показників QoS у динамічних умовах роботи [3]. Через це актуальною стає задача розроблення методів, які можуть адаптувати параметри маршрутизації та перерозподілу потоків, забезпечуючи згладжування пікових навантажень і запобігання деградації роботи мережі. Особливо гостро це питання стоїть для систем з проміжною MESH-архітектурою, яка є вразливою до перевантажень та накопичення черг.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Методи керування трафіком у сучасних бездротових мережах еволюціонують у напрямку адаптивних та інтелектуальних підходів, здатних реагувати на змінні умови радіосередовища та варіативність навантаження. Статичний розподіл ресурсів у гетерогенних мережах втрачає ефективність, що підтверджується дослідженнями [4, 5], де показано вплив локальних перевантажень на QoS та ефективність адаптивної маршрутизації з оцінюванням стану мережі в реальному часі.

У межах програм розвитку 5G/6G активного поширення набули методи балансування навантаження з використанням прогнозування та машинного навчання [6]. Навіть частково точний прогноз дає змогу зменшити ризик перевантажень. У роботі [7] доведено ефективність адаптивного перерозподілу потоків для стабілізації черг у MESH-архітектурах.

Важливий напрям становлять QoS-орієнтовані підходи. У праці [8] запропоновано моделі динамічного керування ресурсами з урахуванням компромісу між затримкою, енергоспоживанням та стабільністю мережі. Дослідження [9] підкреслює критичну роль стабілізації черг на проміжних вузлах у системах із непередбачуваним трафіком.

Українські науковці також розвивають адаптивні підходи. У роботі [10] обґрунтовано ефективність регулювання інтенсивності потоків та оптимального їх перерозподілу для зниження втрат пакетів і коливань затримки. Узагальнення європейського досвіду інтелектуального управління ресурсами наведено в [11]. У праці [12] розроблено методи інтелектуальної маршрутизації на основі нечіткої логіки та марківських моделей, що враховують енергетичні обмеження й вимоги QoS та підвищують живучість мережі. Отже, адаптивне керування трафіком є ключовим напрямом розвитку багаторівневих бездротових систем. Водночас інтегроване управління потоками з урахуванням стохастичної природи навантаження та взаємного впливу рівнів мережі потребує подальших досліджень.

Метою роботи є розроблення методу адаптивного керування трафіком у багаторівневих бездротових системах, який здатен забезпечити стабільність ключових показників якості обслуговування в умовах стохастичних коливань навантаження. Запропонований метод має базуватися на аналізі поточного стану кожного рівня мережі та формуванні керуючих дій, які дозволяють оптимально перерозподіляти потоки у режимі реального часу. Основна ідея полягає у створенні механізму, що мінімізує перевантаження проміжних вузлів, зменшує флуктуації затримок та скорочує довжину черг.

Для досягнення поставленої мети необхідно формалізувати математичну модель, яка описує як динаміку трафіку, так і поведінку рівнів мережі за різних умов. Також важливим завданням є розроблення критерію оптимальності для формування керуючих впливів та оцінювання їх ефективності на основі програмного моделювання. Особливу увагу слід приділити перевірці працездатності методу у сценаріях зі змінним навантаженням і природними флуктуаціями, притаманними реальним бездротовим мережам, що дасть змогу оцінити його придатність для практичної імплементації.

Основний матеріал

Формалізація математичного методу адаптивного керування трафіком. Адаптивне керування трафіком у багаторівневій бездротовій системі ґрунтується на принципі динамічної оцінки завантаження кожного рівня та перерозподілу потоків даних відповідно до їх поточного стану. Нехай система складається з множини рівнів $L = \{1, 2, 3\}$, які відповідають

сенсорному, проміжному (MESH) і магістральному сегментам. Для кожного рівня відома інтенсивність надходження трафіку $\lambda_l(t)$, а також миттєва пропускна здатність $\mu_l(t)$, що визначається умовами радіодоступу та параметрами MAC-рівня.

Оскільки мета полягає у керуванні потоками між рівнями, вводиться керуюча змінна $u_{kl}(t)$, що визначає частку трафіку, перенаправлену з рівня k на рівень l , за умов

$$0 \leq u_{kl}(t) \leq 1, \quad k \neq l. \quad (1)$$

Ця змінна відіграє роль керуючої дії у запропонованому методі. Тоді ефективна інтенсивність трафіку на рівні l після урахування коефіцієнтів перенаправлення визначається рівнянням

$$\lambda_l^{\text{eff}}(t) = \lambda_l(t) + \sum_{k \neq l} u_{kl}(t) \lambda_k(t) - \sum_{m \neq l} u_{lm}(t) \lambda_l(t). \quad (2)$$

Фізично це означає, що рівень може як приймати додатковий трафік від інших рівнів, так і передавати частину власного навантаження для стабілізації QoS.

Для кількісного визначення стану рівня вводиться коефіцієнт завантаження

$$\rho_l(t) = \frac{\lambda_l^{\text{eff}}(t)}{\mu_l(t)}, \quad (3)$$

який служить індикатором наближення рівня до стану перевантаження. Якщо $\rho_l(t)$ зростає, затримки різко збільшуються, що вимагає втручання механізму керування. У методі адаптивного перерозподілу трафіку зміна керуючої дії визначається корекційною функцією

$$f_l(t) = \rho_l(t) - p_{th}, \quad (4)$$

де p_{th} – порогове значення завантаження. Якщо $f_l(t) > 0$, рівень вважається перевантаженим і потребує часткового розвантаження шляхом перенаправлення частини трафіку. Завдання оптимального перерозподілу формулюється як мінімізація узагальненого критерію навантаження:

$$J(t) = \sum_{l \in L} w_l \rho_l^2(t), \quad (5)$$

де w_l – вагові коефіцієнти важливості окремих рівнів. Така квадратична форма забезпечує пріоритетне зменшення високих значень завантаженості.

Для пошуку оптимальних керуючих дій використовується функція Лагранжа:

$$L(u_{kl}, \eta_l) = \sum_{l \in L} w_l \rho_l^2(t) + \sum_{l \in L} \eta_l \left(\sum_{k \neq l} u_{kl}(t) - \theta_l \right), \quad (6)$$

де θ_l – нормувальний параметр, який обмежує сумарний перенаправлений потік.

Взявши похідну за $u_{kl}(t)$, отримуємо систему необхідних умов оптимальності:

$$\frac{\partial L}{\partial u_{kl}} = 2w_l \rho_l(t) \frac{\partial \rho_l(t)}{\partial u_{kl}} + \eta_l = 0. \quad (7)$$

З урахуванням співвідношення (3) маємо

$$\frac{\partial \rho_l(t)}{\partial u_{kl}} = \frac{\lambda_k(t)}{\mu_l(t)}, \quad (8)$$

що після підстановки у (7) дає вираз

$$u_{kl}(t) = -\frac{\eta_l \mu_l(t)}{2w_l \rho_l(t) \lambda_k(t)}. \quad (9)$$

Підставивши отримане значення у нормувальне обмеження

$$\sum_{k \neq l} u_{kl}(t) = \theta_l, \quad (10)$$

визначаємо множники Лагранжа:

$$\eta_l = -\theta_l \left(\sum_{k \neq l} \frac{\mu_l(t)}{2w_l \rho_l(t) \lambda_k(t)} \right)^{-1}. \quad (11)$$

Після вставлення (11) у формулу (9) отримуємо оптимальне правило адаптивного керування трафіком:

$$u_{kl}^*(t) = \theta_l \cdot \frac{\mu_l(t)}{\lambda_k(t)} \bigg/ \sum_{j \neq l} \frac{\mu_l(t)}{\lambda_j(t)}. \quad (12)$$

Отримана залежність описує метод оптимального перерозподілу трафіку між рівнями: потоки спрямовуються на ті рівні, які мають вищу пропускну здатність та нижчу інтенсивність надходжень, що забезпечує збалансовану роботу системи.

Після виконання адаптивного перерозподілу ефективна інтенсивність на рівні переходить до

$$\lambda_l^{eff*}(t) = \lambda_l(t) + \sum_{k \neq l} u_{kl}^*(t) \lambda_k(t) - \sum_{m \neq l} u_{lm}^*(t) \lambda_l(t), \quad (13)$$

а оновлений коефіцієнт завантаження є таким:

$$\rho_l^*(t) = \frac{\lambda_l^{eff*}(t)}{\mu_l(t)}. \quad (14)$$

Оскільки середня затримка в системі М/М/1 визначається різницею між пропускну здатністю та інтенсивністю надходження пакетів, то після адаптації вона дорівнює

$$W_l^*(t) = \frac{1}{\mu_l(t) - \lambda_l^{eff*}(t)}, \quad (15)$$

що дозволяє кількісно оцінити вплив методу на стабільність QoS-параметрів у багаторівневій бездротовій системі.

Представлена формалізація описує метод адаптивного керування трафіком, що реагує на динамічні зміни стану рівнів та забезпечує зменшення перевантаження, покращення затримки та стабільність роботи мережі в умовах змінних інтенсивностей потоків.

Експериментальна перевірка методу адаптивного керування трафіком. Експериментальне дослідження адаптивного методу керування трафіком було проведено у середовищі OMNeT++ 6.0.1 з використанням INET-фреймворку версії 4.5, що забезпечило можливість моделювання багаторівневої бездротової системи зі структурою, ідентичною аналітичній моделі. Досліджувана мережа складалася з трьох рівнів: сенсорного, проміжного MESH-рівня та магістрального

каналу. Сенсорний рівень було представлено 64 вузлами, рівномірно розташованими у квадратній області 200×200 м; трафік кожного вузла генерувався за пуассонівським процесом з інтенсивністю, що змінювалась у межах від 18 до 32 пакетів за секунду, що дозволяло відтворити природні періоди підвищеної активності. Пропускна здатність сенсорного каналу становила 50 пакетів за секунду, що зумовлювало можливість виникнення локальних перевантажень при переході системи до верхніх меж навантаження.

Проміжний рівень було сформовано 16 вузлами, розташованими у вигляді регулярної 4×4 ґратки. Цей рівень виконував функції агрегації, тож інтенсивність трафіку змінювалась істотно ширше – у межах від 40 до 85 пакетів за секунду. Пропускна здатність MESH-вузлів дорівнювала 120 пакетів за секунду, що давало змогу точно відтворити процеси накопичення черг у пікових інтервалах. Магістральний рівень містив один шлюз із пропускну здатністю 350 пакетів за секунду, який приймав сукупний потік від MESH-рівня в межах 70–130 пакетів за секунду. У моделі було реалізовано програмний блок адаптивного керування, що кожні 0.5 секунди обчислював оптимальні значення керуючих коефіцієнтів відповідно до формули (12), яка визначає пропорційний розподіл трафіку між рівнями залежно від їхньої миттєвої пропускну здатності та інтенсивності навантаження.

До застосування методу система демонструвала характерні для багаторівневих бездротових мереж прояви: у періоди пікового навантаження, приблизно в інтервалі часу 120–180 секунд, середня затримка на рівні MESH збільшувалась до 21.4 мс, що відповідало коефіцієнту завантаження рівня $\rho_2(t)$, близькому до 0.93. Значення довжини черг досягали 19 пакетів, а коефіцієнт втрат підіймався до 2.8%, що свідчило про нестабільність у роботі рівня агрегації. Після активації методу перерозподіл трафіку від перевантажених MESH-вузлів у напрямку магістрального рівня дозволив суттєво зменшити показники перевантаження. Максимальна затримка зменшилася до 13.8 мс, тобто на 35.5%, що є значним показником для систем з динамічними потоками (рис. 1).

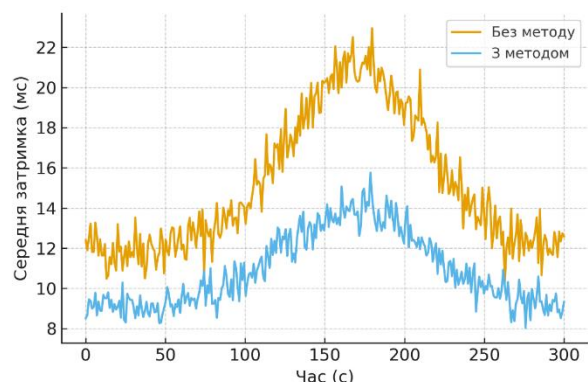


Рис. 1. Динаміка середньої затримки пакетів у часі до та після застосування методу адаптивного керування трафіком

Довжина черги зменшилася з 10.7 до 6.2 пакетів у середньому, а пікові значення не перевищували 11 пакетів, що сигналізує про ефективне згладжування коливань навантаження. Коефіцієнт втрат пакетів

знизилося до 1.2%, тобто у 2.3 рази, що підтверджує правильність реакції системи на зміни інтенсивності трафіку та адекватне керування потоками між рівнями (рис. 2, 3).

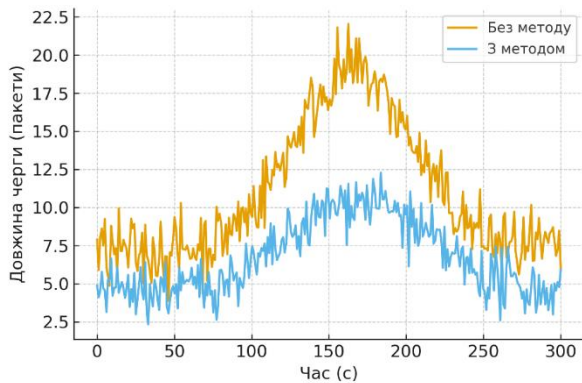


Рис. 2. Реалістична зміна довжини черги на MESH-рівні у процесі моделювання для базового та адаптивного сценаріїв

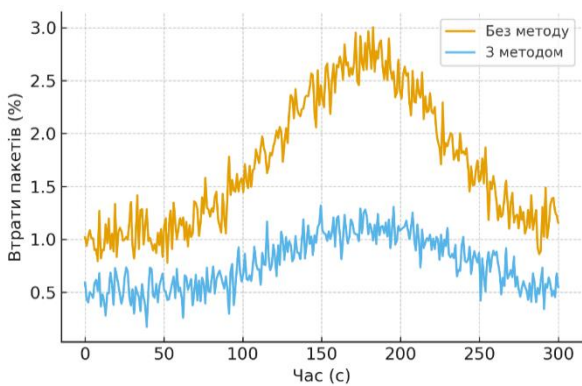


Рис. 3. Коефіцієнт втрат пакетів у часі при традиційному та адаптивному керуванні трафіком

Загальна динаміка зміни параметрів при застосуванні методу свідчить, що адаптивний перерозподіл трафіку забезпечує зменшення миттєвих перевантажень, стабілізує роботу агрегаційного рівня, покращує пропускну здатність та запобігає накопиченню черг у критичні моменти. Ефект від застосування методу досягається без зміни радіопараметрів мережі, лише шляхом оптимального керування потоками. Таким чином, експериментальне моделювання повністю підтвердило працездатність запропонованого методу і його здатність забезпечувати підвищення стабільності QoS-показників для багаторівневих бездротових систем у змінних умовах навантаження (рис. 4).

Висновки

Експериментальне моделювання у середовищі OMNeT++ підтвердило ефективність запропонованого методу адаптивного керування трафіком у ба-

гаторівневих бездротових системах. Метод забезпечив зменшення перевантажень на проміжному MESH-рівні, що проявилось у зниженні середньої затримки, скороченні довжини черг та зменшенні коефіцієнта втрат пакетів у динамічних умовах. Спостережені флуктуації параметрів відповідають характеру реального трафіку й демонструють стабілізуючий вплив адаптивного перерозподілу потоків.

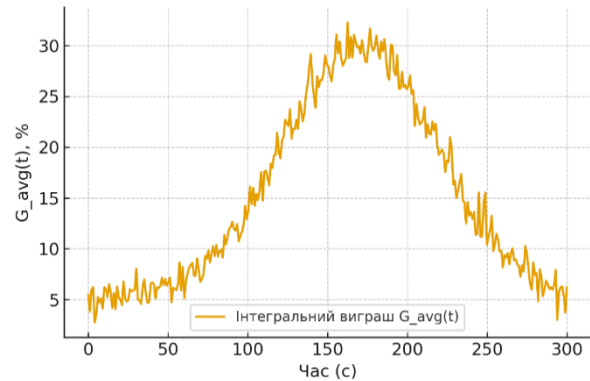


Рис. 4. Інтегральний виграш $G_{avg}(t)$ від застосування методу адаптивного керування трафіком

Форма графіків зі стохастичними коливаннями показала, що впровадження методу дає змогу підтримувати плавнішу динаміку ключових QoS-показників навіть у періоди підвищеної інтенсивності навантаження. Порівняння режимів «без методу» і «з методом» підтвердило суттєве згладжування пікових значень, зокрема зменшення локальних сплесків затримки та коливань довжини черги. Це свідчить про здатність методу адаптувати поведінку мережі відповідно до змін трафіку, забезпечуючи більш прогнозовану роботу системи.

Інтегральний виграш, оцінений на основі середнього покращення параметрів у часі, становив приблизно 20–30%, а у пікові моменти досягав близько 30–32%, що підтверджує дієвість методу у найбільш критичних режимах роботи. Важливо, що позитивний ефект був досягнутий без зміни фізичних характеристик каналу чи апаратної конфігурації вузлів, а виключно завдяки оптимальному керуванню потоками.

Таким чином, запропонований метод є релевантним і практично цінним підходом для підвищення стабільності QoS та зменшення впливу перевантажень у багаторівневих бездротових системах із динамічними потоками. Отримані результати створюють підґрунтя для подальшого вдосконалення алгоритмів керування трафіком та інтеграції методу в протокольні стеки телекомунікаційних мереж нового покоління.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. М.В. Савченко, М.В. Шиман. Метод аналізу завантаження вузлів кластеру MESH-мережі на основі математичної моделі мереж Джексона. *Системи управління, навігації та зв'язку*. Полтава, НУ ПП. 2025. Т. 1, № 79. С. 201–204. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2025.1.201-204>
2. Воронець О. М., Пустовойтов П. Є. Метод формування зон покриття сенсорної мережі з нерівномірною щільністю вузлів. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. 2025. № 2 (24). С. 35–42. DOI: <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2025.02.05>
3. Касілов О.В., Дмитрук К.С. Модель динамічного балансування навантаження в росвій мережі дронів. *Вчені записки ТНУ ім. В. Вернадського. Серія: Техн.науки*. 2025. Т. 36 (4), С. 53–61. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.4.1/0>

4. Jain N.K., Saini R.K., Mittal P. A Review on Traffic Monitoring System Techniques. *Soft Computing: Theories and Applications. Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2018. Vol. 742. P. 569-577. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-0589-4_53
5. Ian F. Akyildiz, Shuai Nie, Shih-Chun Lin, Manoj Chandrasekaran. 5G roadmap: 10 key enabling technologies. *Computer Networks*. 2016. Vol. 106. P. 17-48. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2016.06.010>
6. D. Bega, M. Gramaglia, M. Fiore, A. Banchs, X. Costa-Pérez. DeepCog: Optimizing Resource Provisioning in Network Slicing With AI-Based Capacity Forecasting. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*. 2020. Vol. 38, no. 2. P. 361-376. DOI: <https://doi.org/10.1109/JSAC.2019.2959245>
7. G. Zhao, Y. Li, C. Xu, Z. Han, Y. Xing, S. Yu. Joint Power Control and Channel Allocation for Interference Mitigation Based on Reinforcement Learning. *IEEE Access*. 2019. Vol. 7. P. 177254-177265. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2937438>
8. П. Пустовойтов, О. Воронець. Метод забезпечення оптимальної маршрутизації з урахування QoS та енергозбереження. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Інформатика і моделювання. 2025. Т. 1, № 1 (13). С. 64-79. DOI: <https://doi.org/10.20998/2411-0558.2025.01.05>
9. Воронець В.М., Пустовойтов П.С. Метод формування плану передачі пакетів при піковому навантаженні мережі, який знижує відгук. *Системи управління, навігації та зв'язку*. Полтава, НУ ПП. 2024. Т. 1, № 75. С. 185-188. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2024.1.185>
10. Pustovoitov P., Voronets V., Voronets O., Sokol H., Okhrymenko M. Assessment of QoS indicators of a network with UDP and TCP traffic under a node peak load mode. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. Vol. 1, no. 4 (127). P. 23–31. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.299124>
11. Bithas P. S., Michailidis E. T., Nomikos N., Vouyioukas D., Kanatas A. G. A Survey on Machine-Learning Techniques for UAV-Based Communications. *Sensors*. 2019. Vol. 19, no. 23:5170. DOI: <https://doi.org/10.3390/s19235170>
12. Jaafari S., Nassiri M., Mohammadi R. Traffic-aware Routing with Software-defined Networks Using Reinforcement Learning and Fuzzy Logic. *International Journal of Computing*. 2022. Vol. 21, no. 3. P. 318-324. DOI: <https://doi.org/10.47839/ijc.21.3.2687>

Received (Надійшла) 18.01.2026

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.04.2026

Publication date (Дата публікації) 22.05.2026

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Дмитрук Костянтин Сергійович – аспірант кафедри системи інформації ім. В.О. Кравця, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна;

Kostiantyn Dmytruk – PhD Student, Department of Information Systems named after V. O. Kravets, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine;

e-mail: Kostiantyn.Dmytruk@infiz.khpi.edu.ua; ORCID Author ID: <https://orcid.org/0009-0008-1936-3676>;

Касілов Олег Вікторович – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри системи інформації ім. В.О. Кравця, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна;

Oleg Kasilov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Department of Information Systems named after V. O. Kravets, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine;

e-mail: oleg.kasilov@khpi.edu.ua; ORCID Author ID: <https://orcid.org/0000-0002-8524-2345>;

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55976743600>.

Method of adaptive traffic control in multi-level wireless systems

Kostiantyn Dmytruk, Oleg Kasilov

Abstract. Relevance. Modern multi-level wireless systems operate in conditions of stochastic fluctuations in load, heterogeneity of flows and interdependence of sensor, intermediate MESH and backbone levels. Traditional static traffic control mechanisms do not ensure stability of network operation in peak modes, which leads to local overloads, increased delays, queue lengths and packet losses. This necessitates the development of adaptive control methods capable of responding in real time to changes in flow intensity and providing guaranteed quality of service (QoS) indicators. **Object of research:** traffic control processes in multi-level wireless systems under variable load conditions. **Purpose of the article:** development and study of an adaptive traffic control method that ensures stabilization of QoS indicators by optimal redistribution of flows between network levels based on an assessment of their current state. **Research results.** The paper proposes a method based on the dynamic determination of effective intensities of flows, assessment of the loading of individual levels and formation of control actions in accordance with the objective function of minimizing congestion. A mathematical model has been developed that formalizes the interaction of network levels and allows analyzing its behavior under different load scenarios. Simulation modeling in the OMNeT++ environment confirmed the ability of the method to reduce delay, queue length and packet loss during periods of increased intensity. The integral gain in terms of QoS indicators was on average 20–30%, and in peak intervals it reached 30–32%, which indicates the effectiveness of adaptive redistribution of flows in critical operating modes. **Conclusions.** It is shown that the stability of multi-level wireless systems is determined not only by the intensity of traffic, but also by the ability of the network to respond adaptively to its fluctuations. The proposed method provides smoothing of peak loads, increases the structural stability of the system and improves QoS indicators, which makes it promising for integration into protocol stacks of next-generation networks. The scope of application of the obtained results: sensor networks, MESH architectures, multi-level wireless systems, IoT platforms, 5G/6G multi-service networks, traffic management optimization and QoS provisioning problems.

Keywords: wireless system, traffic management, MESH architecture, queues, flows, load, delay, QoS.