

УДК 004.7:621.391.63

Киричек Г.Г.¹, Тягунова М.Ю.¹

¹доц. НУ «Запорізька політехніка»

MESH-МЕРЕЖА УНІВЕРСИТЕТУ ЯК ОСНОВА ЯКІСНОГО НАВЧАННЯ

Сучасні заклади вищої освіти значною мірою залежать від стабільного функціонування інформаційно-комунікаційної інфраструктури [1]. Одним із перспективних підходів до підвищення стійкості мережевої інфраструктури університетів є використання бездротових mesh-мереж, зокрема на основі стандартів IEEE 802.11s, IEEE 802.11ac/ax (Wi-Fi 5/6) та технологій Wi-Fi Mesh [2]. Така архітектура передбачає децентралізовану організацію мережі, у якій кожен вузол може виконувати функції маршрутизатора та ретранслятора, використовуючи протоколи маршрутизації, такі як HWMP (Hybrid Wireless Mesh Protocol), OLSR (Optimized Link State Routing) або BATMAN (Better Approach To Mobile Ad hoc Networking), забезпечуючи альтернативні маршрути передачі даних. Завдяки цьому мережа здатна автоматично перебудовуватися у випадку виходу з ладу окремих вузлів або сегментів [3].

Метою дослідження є розробка та впровадження інтелектуальної mesh-мережі подвійного призначення для університетського кампусу, яка забезпечує стабільне цифрове освітнє середовище, а також стійкі канали зв'язку для здійснення адміністративного управління та надання публічних послуг у кризових умовах. Об'єктом дослідження є процес функціонування цифрового освітнього середовища університету в умовах нестабільної мережевої інфраструктури. Предмет дослідження – моделі, методи та засоби організації бездротової mesh-мережі університетського кампусу для забезпечення стабільного доступу до освітніх сервісів та інформаційних ресурсів. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: проаналізувати особливості використання mesh-мереж у кампусній

мережевій інфраструктурі з урахуванням стандартів IEEE 802.11s; дослідити можливості забезпечення безперервного доступу до цифрових освітніх сервісів у децентралізованих мережах із застосуванням технологій SDN/NFV; побудувати модель мережевої топології університетського кампусу; оцінити можливості забезпечення стабільного покриття навчальних корпусів із використанням сучасних стандартів Wi-Fi; визначити основні показники ефективності функціонування мережі, зокрема throughput, latency, packet delivery ratio (PDR) та jitter.

Особливістю запропонованого підходу є орієнтація на підтримку якості навчання. Реалізація mesh-мережі дозволяє забезпечити стабільний доступ студентів і викладачів до навчальних платформ, електронних бібліотек, систем управління навчанням (LMS), сервісів відеоконференцій та інших цифрових освітніх ресурсів. У роботі розглянуто підхід до створення бездротової mesh-мережі університетського кампусу як основи забезпечення безперервного освітнього процесу та запропоновано використання децентралізованої архітектури Wireless Mesh Network (WMN), яка реалізується із застосуванням технологій Software-Defined Networking (SDN) та механізмів віртуалізації мережесих функцій (NFV). Це дозволяє забезпечити надійний доступ до освітніх ресурсів, систем дистанційного навчання (Moodle, Google Classroom), а також сервісів відеокommunікації (Zoom, Microsoft Teams, WebRTC) навіть у разі пошкодження окремих елементів мережевої інфраструктури. Особливу увагу приділено забезпеченню стабільного доступу до цифрового освітнього середовища університету із використанням механізмів забезпечення якості обслуговування (QoS, DiffServ, IEEE 802.11e) та балансування навантаження.

Мережу університетського кампусу доцільно представити у вигляді неорієнтованого графа $G(V, E)$, де: V - множина вузлів мережі (точки доступу, маршрутизатори, ретранслятори); E - множина каналів зв'язку між вузлами. При цьому кожен вузол мережі $v_i \in V$ характеризується набором параметрів: $v_i = (p_i, r_i, e_i)$ (рис. 1).

Для забезпечення стабільного функціонування освітніх сервісів необхідно виконання умови стабільного стану мережі: $A \geq A_{\min}$, де $A_{\min}$ - мінімально допустимий рівень працездатності мережі. Якість мережевого з'єднання може оцінюватися за показником середньої затримки передачі пакетів. Для підвищення рівня надійності та безпеки мережі передбачено використання сучасних протоколів захисту, зокрема WPA3, 802.1X, а також технологій тунелювання та шифрування (VPN, IPsec, TLS). Управління мережею може здійснюватися за допомогою централізованих та розподілених систем моніторингу (Zabbix, Prometheus, SNMP), що дозволяє оперативно виявляти та усувати відмови.

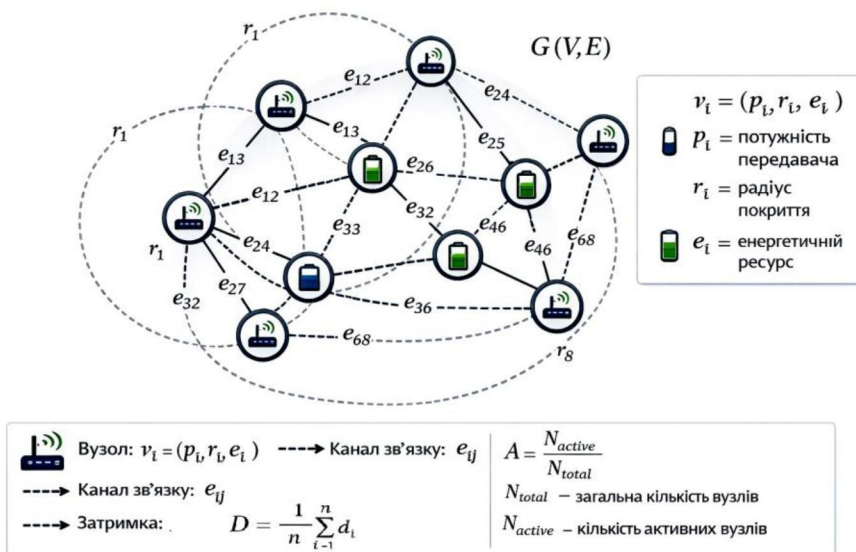


Рисунок 1 - Модель мережі

У результаті дослідження обґрунтовано доцільність використання бездротових mesh-мереж як ефективного підходу до підвищення стійкості інформаційно-комунікаційної інфраструктури університетів. Встановлено, що застосування сучасних стандартів та протоколів забезпечує децентралізовану організацію мережі з можливістю самовідновлення та адаптивної маршрутизації. Запропонована архітектура дозволяє гарантувати безперервний доступ до цифрових освітніх ресурсів навіть в умовах часткової деградації мережевої інфраструктури. Доведено, що інтеграція технологій SDN та механізмів QoS сприяє підвищенню ефективності управління мережею та якості обслуговування користувачів. Отримані результати підтверджують можливість забезпечення стабільного покриття та належних показників продуктивності мережі в умовах змінного навантаження. Практична цінність роботи полягає у можливості застосування запропонованих рішень для побудови стійкого цифрового освітнього середовища університетів. У подальших дослідженнях доцільно зосередитися на використанні методів машинного навчання для оптимізації маршрутизації та прогнозування мережевих навантажень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kyrychek H. H., Tiahunova M. Yu., Zui M. S. Evaluation criteria and distance learning system. *International scientific conference «European integration trends in pedagogy and psychology and prospects for Ukraine»*. (Riga, the Republic of Latvia, 19–20 march. 2025). Riga, Latvia: Baltija Publishing, 2025. P. 125-129. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-550-1-32>
2. Карнаух Д., Тягунова М., Киричек Г. Методи та можливості покращення ефективності бездротових мереж передачі даних для систем «ІоТ». *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2025. Том 36 (75). № 2. Ч.1. С. 84-90. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.2.1/13>
3. Landivar J. F., Crombez P., Pollin S., Sallouha H. QualityBLE: A QoS aware implementation for BLE mesh networks. *arXiv preprint arXiv:2308.00599*, 2023. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2308.00599>