

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ
АНАЛІЗ ТА ОЦІНКА ВАРІАНТІВ АПАРАТНОГО ЗАБЕПЕЧЕННЯ
КОМПОНЕНТІВ КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ

Виконав: Студент 4 курсу, Групи КСМ-22:
Пампуха Д.О.

Керівник:
к.т.н., доцент Ізмайлова О.В.

Київ-2026

МЕТА ТА ЗАВДАННЯ РОБОТИ

Мета: комплексний аналіз варіантів апаратного забезпечення мережевої інфраструктури

Завдання:

1. Визначити критерії оцінки обладнання
2. Проаналізувати сучасні архітектури мереж
3. Порівняти варіанти від різних виробників
4. Розробити програмний інструмент для вибору
5. Обґрунтувати рекомендацію для Укренерго



ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єкт дослідження: 

- Процес вибору апаратного забезпечення для корпоративної комп'ютерної мережі енергетичного підприємства НЕК "Укренерго"

Масштаб дослідження: 

- 8 альтернативних варіантів (4 комутатори + 4 маршрутизатори)
- 6 критеріїв оцінки для кожного типу обладнання
- 5-бальна шкала експертного оцінювання

Предмет дослідження: 

- Методи багатокритеріального прийняття рішень (TOPSIS, AHP) та їх програмна реалізація для оцінки мережевого обладнання за критеріями продуктивності, безпеки, керованості та вартості

МЕТОДОЛОГІЯ ОЦІНЮВАННЯ ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ ПОБУДОВАНА НА ТРЬОХ ЕТАПАХ:

- 1. МЕТОД АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ (АНР)
→ ВИЗНАЧАЄ ЯКІ КРИТЕРІЇ ВАЖЛИВІШІ
- 2. ПРОФІЛЬ ВИМОГ
→ ВІДСІВАЄ НЕПРИДАТНІ ВАРІАНТИ АВТОМАТИЧНО
→ ПРОФІЛЬ ВСТАНОВЛЮЄ БАЖАННИЙ ІДЕАЛ ТА МІНІМАЛЬНЕ ДОПУСТИМЕ ЗНАЧЕННЯ ДЛЯ TOPSIS, А ТАКОЖ ЗАБЕЗПЕЧУЄ ВІДСІВ ВАРІАНТІВ
→ ІДЕАЛ - ЦЕ БАЖАНЕ НАЙКРАЩЕ ЗНАЧЕННЯ
- 3. TOPSIS
→ РАНЖУЄ ДОПУЩЕНІ ВАРІАНТИ ЗА ПОКАЗНИКОМ БЛИЗЬКОСТІ ДО ІДЕАЛУ

МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1. МЕТОД АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ (АНР) РОЗРАХУНОК ВАГОВИХ КОЕФІЦІЄНТІВ:

$$w_j = \left(\frac{1}{m}\right) \times \frac{\sum(b_{j1})}{\sum(b_{i1})}, j = 1, \dots, m \quad (3.7)$$

→ ВАГИ КРИТЕРІЇВ (K1=0.238, K4=0.238)

2. МЕТОД TOPSIS — БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОЦІНКА АЛЬТЕРНАТИВ:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{(\sum x_{ij}^2)}}, i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m \quad (3.8)$$

→ Нормалізація (0-1)

$$v_{ij} = w_j \times r_{ij} \quad (3.9)$$

→ Зважування на ваги

$$C_i = \frac{d_i^-}{(d_i^+ + d_i^-)}, \text{ де } 0 \leq C_i \leq 1 \quad (3.14)$$

→ Рейтинг C_i (0-1): Cisco=1.0

3. ЕКСПЕРТНЕ ОЦІНЮВАННЯ — П'ЯТИБАЛЬНА ШКАЛА (1-5)

Бал	Оцінка	Опис
5	Відмінно	Повністю відповідає вимогам критичної інфраструктури із значним запасом
4	Дуже добре	Відповідає вимогам із невеликим запасом для розширення
3	Задовільно	Відповідає поточним вимогам без запасу
2	Погано	Частково відповідає вимогам, є суттєві обмеження
1	Неприйнятно	Не відповідає мінімальним вимогам

4. ВІДСІВ ВАРІАНТІВ — ПЕРЕВІРКА МІНІМАЛЬНИХ ВИМОГ ПРОФІЛЮ

$$a_i \in A * \text{якщо } x_{ij} \geq x_j^{\min} \text{ для всіх } j = 1, \dots, m \quad (3.5)$$

→ Фільтрація непридатних варіантів

РОЛЬ АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Апаратне забезпечення визначає межу можливостей:

- L2/L3 маршрутизація
- VLAN сегментація (802.1Q)
- SNMP моніторинг та NetFlow
- Out-of-band management
- PoE керування
- Стекування пристроїв



Без цього — мережа некерована!

АРХІТЕКТУРИ СУЧАСНИХ МЕРЕЖ

Ієрархічна трирівнева модель (стандарт для підприємств):

1. Core (Ядро) — 40/100 Gbps, максимальна пропускна здатність
2. Distribution (Агрегація) — L3 маршрутизація, VLAN
3. Access (Доступ) — PoE, щільність портів, Wi-Fi 7 (Multi-Gigabit)

Ієрархічна трирівнева модель



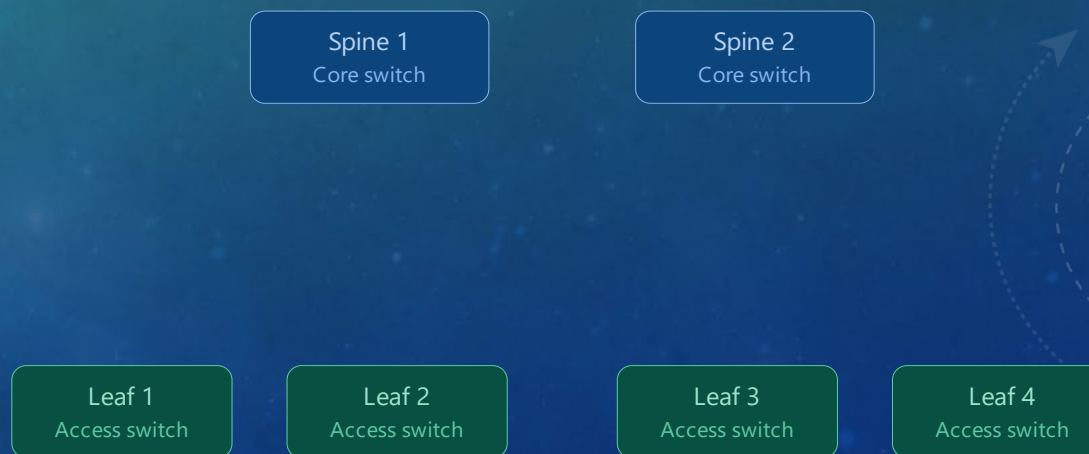
Стандарт для корпоративних мереж — обрано для НЕК Укренерго

Spine-Leaf архітектура:

1. Передбачувана затримка, просто масштабованість
2. Але дорожча за кабельну інфраструктуру

Для Укренерго: Ієрархічна модель ✓

Spine-Leaf архітектура



Кожен Leaf з'єднаний з кожним Spine — передбачувана затримка

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ МЕРЕЖЕЮ

- CISCO — МАКСИМАЛЬНА АВТОМАТИЗАЦІЯ ЧЕРЕЗ DNA CENTER, АПАРАТНІ ASIC-ЧІПИ, ЦЕНТРАЛІЗОВАНЕ УПРАВЛІННЯ ПОЛІТИКАМИ.
- МІКРОТІК — НИЗЬКА ВАРТІСТЬ, ГНУЧКІСТЬ ROUTEROS, АЛЕ БЕЗ ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ "З КОРОБКИ". ОПТИМАЛЬНИЙ ДЛЯ SMB.
- UBIQUITI — ПРОСТИЙ GUI, ШВИДКЕ РОЗГОРТАННЯ WI-FI. ОБМЕЖЕНА ГНУЧКІСТЬ ПОЗА КОНТРОЛЕРОМ.

Порівняльний аналіз програмно-апаратних комплексів управління

Критерій	Cisco Enterprise	MikroTik SMB / Pro	Ubiquiti Visual / WiFi
Складність управління	Висока (сертифікація)	Висока (CLI / WinBox)	Низька (GUI)
Централізація	Повна (DNA Center)	Часткова (The Dude)	Повна (UniFi)
Вартість заліза	Висока	Низька	Середня
Гнучкість налаштувань	Дуже висока	Екстремальна	Середня

Для критичної інфраструктури Укренерго — обрано Cisco ✓

АНАЛІЗ НЕДОЛІКІВ ПОТОЧНОЇ МЕРЕЖЕВОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Поточне обладнання НЕК Укренерго — Cisco Catalyst 2960 та Cisco 2911 — має чотири критичні обмеження для об'єкта енергетичної інфраструктури:

- Робота виключно на рівні L2 — весь міжвловий трафік іде через маршрутизатор, створюючи вузьке місце
- Пропускна здатність 1 Gbps — недостатня при впровадженні Wi-Fi 7 та зростанні серверного трафіку
- Відсутність MACsec та TrustSec — мережа вразлива до атак на каналному рівні
- Обладнання знято з підтримки — нові патчі безпеки більше не випускаються

Недоліки поточної інфраструктури НЕК Укренерго

Cisco Catalyst 2960 + Cisco 2911
Поточне обладнання мережі

Тільки L2
Немає міжвловий маршрутизації

1 Gbps
Недостатня пропускна здатність

Без MACsec
Відсутнє апаратне шифрування

EoL
Знято з підтримки виробника

Cisco Catalyst 9200 + Cisco ISR 4331
L3 / 10 Gbps / MACsec / активна підтримка ✓

Всі чотири обмеження усуваються модернізованим рішенням

ВИБІР КОМУТАТОРА ДЛЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ

РОЗГЛЯНУТО ТРИ АЛЬТЕРНАТИВИ ДЛЯ ЗАМІНИ CISCO CATALYST 2960:

1. Cisco Catalyst 9200 — єдиний варіант з повним набором функцій безпеки: MACsec, TrustSec, StackWise-160. Повна інтеграція з DNA Center
2. MikroTik CRS326 — економічно привабливий, підтримує L3, але відсутнє апаратне шифрування корпоративного рівня. Оптимальний для середнього бізнесу
3. Ubiquiti USW-Pro-24 — простий у розгортанні, але не відповідає вимогам безпеки критичної інфраструктури

Порівняльний аналіз варіантів комутаторів

Критерій	Catalyst 2960 поточний	Catalyst 9200 рекомендовано	MikroTik CRS326	Ubiquiti USW-Pro-24
Рівень OSI	L2 ✗	L3 ✓	L3 ✓	L3 ✓
Швидкість портів	1 Gbps ✗	до 25 Gbps ✓	10 Gbps uplink	10 Gbps uplink
Апаратне шифр.	Відсутнє ✗	MACsec ✓	Відсутнє ✗	Відсутнє ✗
Стекування	Обмежене ✗	StackWise ✓	Обмежене	Відсутнє ✗
Вартість	\$200–400	\$2000–3000	\$200–300	\$400–600

**CISCO CATALYST 9200 — ЄДИНИЙ ВАРІАНТ З
АПАРАТНИМ ШИФРУВАННЯМ MACSEC,
НЕОБХІДНИМ ДЛЯ КРИТИЧНОЇ
ІНФРАСТРУКТУРИ**

ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ

Різниця TCO за 5 років — лише \$1 800 на користь поточного рішення. Але:

- Поточне обладнання знято з підтримки — нові патчі безпеки не виходять
- Ризики простою для поточного рішення оцінені в \$8 000 проти \$1 000 після модернізації
- Один серйозний інцидент кібербезпеки на об'єкті критичної інфраструктури багаторазово перевищує різницю у вартості

Розрахунок TCO на 5 років та обґрунтування вибору

Стаття витрат	Поточне 2960 + 2911	Після модернізації 9200 + ISR 4331
Комутатори (3 шт.)	\$900	\$7 500
Маршрутизатор	\$300	\$2 000
Ліцензії та підтримка	\$1 000	\$3 500
Ризики простою	\$8 000	\$1 000
Загальний TCO (5 років)	\$14 200	\$16 000

Різниця \$1 800 за 5 років — менша за втрати від одного інциденту кібербезпеки

МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕКОНОМІЧНО ОБҐРУНТОВАНА — CISCO CATALYST 9200 + ISR 4331

МЕТОДОЛОГІЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОЦІНКИ АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Традиційний підхід до вибору обладнання на основі суб'єктивного порівняння не враховує відносну важливість критеріїв. Розроблено програмний засіб який реалізує два методи:

1. АНР — математично обґрунтоване визначення вагових коефіцієнтів через попарне порівняння критеріїв за шкалою 1–9

2. TOPSIS — ранжування альтернатив за одночасною близькістю до ідеального та віддаленістю від найгіршого рішення

Методологія багатокритеріальної оцінки: TOPSIS + АНР



РЕЗУЛЬТАТ $C_i = 1.0$ ОЗНАЧАЄ ІДЕАЛЬНЕ РІШЕННЯ
— ПРИСТРІЙ ВІДПОВІДАЄ ВСІМ ВИМОГАМ
КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

ПРОГРАМНИЙ ЗАСІБ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОЦІНКИ — ІНТЕРФЕЙС

Оцінка апаратного забезпечення комп'ютерної мережі

Багатокритеріальний аналіз мережевого обладнання на основі методу TOPSIS з урахуванням вимог критичної інфраструктури



Оцінка комутаторів

Порівняння 4 варіантів: Cisco Catalyst 2960, 9200, MikroTik CRS326, Ubiquiti USW-Pro-24

4 пристрої 6 критеріїв L2/L3



Оцінка маршрутизаторів

Порівняння 4 варіантів: Cisco 2911, ISR 4331, MikroTik RB4011, Ubiquiti Gateway Pro

4 пристрої 6 критеріїв Шифрування

ПРОЦЕС ОЦІНЮВАННЯ

1. Перевірити оцінки
2. Задати ваги критеріїв
3. Відсів варіантів
4. Розрахунок TOPSIS
5. Рейтинг та рекомендація

← Головна

Результати — Комутатори



Cisco Catalyst 9200

SW-02 · Cisco · Рекомендований варіант

1.0

показник C_i

Підсумковий рейтинг

Місце	Пристрій	K1	K2	K3	K4	K5	K6	d ⁺ (до ідеального)	d ⁻ (до антиідеального)	C _i
1	Cisco Catalyst 9200 SW-02 · Cisco	5	5	5	5	5	1	0.0	0.2177	1.0
2	MikroTik CRS326-24G-2S+ SW-03 · MikroTik	3	3	4	1	2	4	0.2136	0.0158	0.0687
3	Ubiquiti UniFi USW-Pro-24 SW-04 · Ubiquiti	3	3	4	1	1	3	0.2158	0.0126	0.0553

Використані ваги критеріїв (АНП)

K1	K2	K3	K4	K5	K6
Пропускна здатність (Gbps)	Швидкість пересилання (Mbps)	Підтримка L3 маршрутизації	Апаратне шифрування	Підтримка стегування	Вартість (менше = краще)
0.238	0.169	0.213	0.238	0.086	0.064

Відсієні варіанти

✗	Cisco Catalyst 2960-24TT SW-01 · Cisco
Критерій K3 (Підтримка L3 маршрутизації): оцінка 1 < мінімум 3	

← Змінити оцінки

Нова оцінка

Головна сторінка — вибір типу обладнання та перегляд етапів оцінювання

Сторінка результатів — рейтинг з показниками d^+ , d^- , C_i та рекомендацією

РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ПРОГРАМНОГО ЗАСОБУ

З ВОСЬМИ ПРИСТРОЇВ АВТОМАТИЧНИЙ ВІДСІВ ЗАЛИШИВ ЧОТИРИ:

- SW-01 (Catalyst 2960) відсіяно по K3 — немає підтримки L3
- RT-01, RT-03, RT-04 відсіяно по K4 — недостатній рівень апаратного шифрування
- Для допущених комутаторів виконано повний розрахунок TOPSIS. Cisco Catalyst 9200 отримав $C_i = 1.000$ — ідеальне рішення, яке одночасно має нульову відстань до ідеального і максимальну до найгіршого.

Результати відсіву та підсумковий рейтинг TOPSIS

Відсів — 8 пристроїв → 4 допущено

SW-01 відсіяно
K3: L2 тільки

RT-01,03,04 відсіяно
K4: без MACsec

Допущено: SW-02, SW-03, SW-04, RT-02

Рейтинг комутаторів

🏆 Cisco Catalyst 9200
 $C_i = 1.000$ — ідеальне рішення ✓

MikroTik CRS326
 $C_i = 0.069$ — 2 місце

Ubiquiti USW-Pro-24
 $C_i = 0.055$ — 3 місце

Рейтинг марш рутизаторів

🏆 Cisco ISR 4331
Єдиний що відповідає профілю ✓

Рекомендація програмного засобу
Cisco Catalyst 9200 (рівень доступу) + Cisco ISR 4331 (шлюз мережі)

Результат підтверджує висновки порівняльного аналізу розділу 2

ВИСНОВКИ:

- Керованість мережі визначається апаратною базою — підтримка VLAN, SNMP, NetFlow та ASIC є обов'язковими умовами, а не опціями
- Порівняльний аналіз Cisco / MikroTik / Ubiquiti показав: жоден варіант не є універсальним — вибір залежить від вимог об'єкта
- Поточна інфраструктура НЕК "Укренерго" (Catalyst 2960 + Cisco 2911) має 4 критичні обмеження: L2-only, 1 Gbps, відсутність MACsec, знято з підтримки
- Різниця ТСО за 5 років — лише \$1 800, що є незначною сумою порівняно з ризиками від інциденту кібербезпеки
- Розроблено програмний засіб на Python/Flask що автоматизує багатокритеріальну оцінку методами АНП + TOPSIS
- Рекомендація: Cisco Catalyst 9200 ($C_i = 1.000$) + Cisco ISR 4331 — єдині варіанти що повністю відповідають вимогам критичної інфраструктури

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!