*УДК 621.391*

# ВИБІР ПЕРСПЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДОСТУПУ НА ОСНОВІ ПОРІВНЯЛЬНОГО АНАЛІЗУ

*Каптур В.А., Кравченко П.С., Маммадов Є.М.*

*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,*
*65029, Україна, м. Одеса, вул. Ковальська,1.*

*vadim.kaptur@onat.edu.ua, kravchenko.pavel@onat.edu.ua*

# ВЫБОР ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДОСТУПА НА ОСНОВЕ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА

*Каптур В.А., Кравченко П.С., Маммадов Е.М.*

*Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова,*
*65029, Украина, г. Одесса, ул. Кузнечная,1.*

*vadim.kaptur@onat.edu.ua, kravchenko.pavel@onat.edu.ua*

# CHOOSING PERSPECTIVE ACCESS TECHNOLOGIES BASED ON COMPARATIVE ANALYSIS

*Kaptur V.A., Kravchenko P.S., Mammadov E.M.*

*O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications,*
*1 Kovalska St., Odessa, 65029, Ukraine.*

*vadim.kaptur@onat.edu.ua, kravchenko.pavel@onat.edu.ua*

**Анотація**. Показано складність вибору телекомунікаційних технологій побудови мереж доступу в процесі проектування телекомунікаційної мережі. Запропоновано та описано метод вибору перспективних технологій доступу, який базується на основі порівняльного аналізу. Визначено критерії порівняння технологій доступу виходячи з основних функціональних відмінностей технологій та їх особливостей з точки зору експлуатаційно-технічних параметрів, сервісних параметрів і параметрів обслуговування. Проведено порівняльний аналіз дев'яти популярних технологій доступу, що використовуються на телекомунікаційних мережах України (DOCSIS, ADSL, SHDSL, Ethernet, Wi-Fi, Wi-Max, ADSL2+, CDMA, Long Term Evolution), та визначено найбільш перспективні технології доступу в Україні на момент підготовки публікації. Показано критерії порівняння технологій доступу, які отримали найбільший ваговий коефіцієнт під час проведення порівняльного аналізу.

**Ключові слова:** технологія доступу, порівняльний аналіз, експертна оцінка, ваговий коефіцієнт, критерій порівняння.

**Аннотация.** Показана сложность выбора телекоммуникационных технологий построения сетей доступа в процессе проектирования телекоммуникационной сети. Предложен и описан метод выбора перспективных технологий доступа, который базируется на основе сравнительного анализа. Определены критерии сравнения технологий доступа исходя из основных функциональных отличий и их особенностей с точки зрения эксплуатационно-технических параметров, сервисных параметров и параметров обслуживания. Проведен сравнительный анализ девяти популярных технологий доступа, используемых на телекоммуникационных сетях Украины (DOCSIS, ADSL, SHDSL, Ethernet, Wi-Fi, Wi-Max, ADSL2+, CDMA, Long Term Evolution), и определены наиболее перспективные технологии доступа в Украине на момент подготовки публикации. Показаны критерии сравнения технологий доступа, которые получили наибольший весовой коэффициент в процессе выполнения сравнительного анализа.

**Ключевые слова:** технология доступа, сравнительный анализ, экспертная оценка, весовой коэффициент, критерий сравнения.

**Abstract.** Shows the difficulty of choosing a telecommunications access network technology in the design process of the telecommunications network. We propose and describe a method of choosing prospective access technologies, which is based on the comparative analysis. The criteria of comparison of access technologies based on the main functional differences and their characteristics in terms of operating and technical parameters, service parameters and service parameters. A comparative analysis of nine popu-

© *Каптур В.А., Кравченко П.С., Маммадов Є.М.*, 2015

lar access technology used in telecommunications networks Ukraine (DOCSIS, ADSL, SHDSL, Ethernet, Wi-Fi, Wi-Max, ADSL2 +, CDMA, Long Term Evolution), and identifies the most promising access technologies in Ukraine at the time of preparation publication. Showing comparison criteria of access technologies, which have received the largest weighting in the process of performing a comparative analysis.

***Key words:*** access technology, comparative analysis, expert evaluation, the weighting factor, criterion of comparison.

Бурхливий розвиток телекомунікацій призвів до появи множини технологій, які можуть бути використані при будівництві телекомунікаційних мереж. В таких умовах все більшої складності набуває питання вибору конкретного технологічного рішення в тих чи інших умовах. Для здійснення такого вибору сьогодні власники телекомунікаційних мереж найчастіше звертаються до послуг професійних проектувальників, які, здійснюючи комплексний техніко-економічний аналіз, забезпечують підтримку правильного (з певною вірогідністю) рішення.

Проте, навіть проведенню такого аналізу мають передувати попередні дослідження, які ставлять за мету відсіяти заздалегідь недоцільні для розгляду технології та сконцентруватися лише на тих технологіях, вибір яких є менш очевидним та потребує детального техніко-економічного обґрунтування (ТЕО).

**Метою статті** є розробка методики попереднього відбору перспективних технологій доступу на стадії пре-ТЕО на базі спрощеного варіанту методу аналізу ієрархій [1…2].

Зазначена методика полягає в одержанні зваженого показника на основі бальних оцінок низки експлуатаційно-технічних критеріїв телекомунікаційних технологій доступу та їх вагових коефіцієнтів, обчислених шляхом їх попарного порівняння.

Особливістю вибраного методу є те, що в отримані порівняльного аналізу відбувається взаємне обговорення деякої проблеми групою людей (експертів), при цьому кожен експерт може висловлювати та модифікувати свої думки, в результаті чого обирається компромісний груповий висновок щодо певного критерію, який характеризує обговорювану проблему. В результаті описаної вище взаємодії експертів у рамках експертної групи забезпечується об’єднання думок експертів раціональним чином і, як результат, винесення узагальненої оцінки того чи іншого критерію відносно конкретного об’єкта порівняння.

Для отримання єдиної комплексної порівняльної оцінки декількох об’єктів, що порівнюються (в нашому випадку декількох технологій побудови мереж доступу), застосовують лінійну згортку виду:

$$Q = \sum_{i=1}^{n} K_i B_i \,, \tag{1}$$

де $K_i$ — ваговий коефіцієнт *i*-го критерію; $B_i$ — бальна оцінка *i*-го критерію.

Вагові коефіцієнти для заздалегідь прийнятих критеріїв обчислюються методом їх попарного порівняння. Для цього формується порівняльна матриця А розміром *n* x *m* елементів $a_{ij}$, де кожний елемент матриці є результатом зваженого експертного порівняння *i*-го та *j*-го критеріїв. При цьому, якщо *i*-й критерій вважається експертами вагомішим за *j*-й, то елемент $a_{ij}$ має дорівнювати 2 (в свою чергу, елемент $a_{ji}$ має дорівнювати 0), а у випадку, коли *i*-й критерій вважається менш вагомим ніж *j*-й, елемент $a_{ij}$ має дорівнювати 0 ($a_{ji}$ має дорівнювати 2). Якщо ж *i*-й та *j*-й критерії вважаються рівнозначними, то елементи $a_{ij}$ та $a_{ji}$ повинні дорівнювати 1. Елементи головної діагоналі матриці дорівнюють 1.

Таким чином, в результаті порівняння критеріїв отримаємо матрицю попарних порівнянь, значення елементів $a_{ij}$ якої відображають суб’єктивний висновок експертів стосовно важливості *i*-го критерію порівняно з *j*-м у конкретних умовах експертизи.

Для визначення вагових коефіцієнтів $K_i$ *i*-го критерію необхідно знайти суму елементів матриці кожного рядка:

$$s_i = \sum_{j=1}^{m} a_{ij}, \quad i = 1 \ldots m, \tag{2}$$

де $m$ – кількість критеріїв.

На наступному кроці необхідно обчислити загальну суму елементів матриці $A$:

$$S_k = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{m} a_{ij} = \sum_{i=1}^{m} s_i . \tag{3}$$

Нормоване значення вагового коефіцієнта $K_i$ $i$-го критерію обчислюється за формулою:

$$K_i = \frac{s_i}{S_k}, \quad i = 1 \ldots m. \tag{4}$$

Для проведення порівняльного аналізу вказаних технологій необхідно визначити критерії, відносно яких будемо порівнювати задані технології. Критерії порівняння доцільно вибирати виходячи з основних функціональних відмінностей технологій та їх особливостей з точки зору експлуатаційно-технічних параметрів, сервісних параметрів і параметрів обслуговування.

Аналіз сучасних стандартів технологій побудови мереж доступу [3-12] дозволяє виділити такі критерії та бальні діапазони (від 1 до 10) для здійснення оцінювання:

1) Пропускна спроможність каналу зв’язку (1 бал – 10 Мбіт/с або менше; 10 балів – 100 Мбіт/с або більше).

2) Максимальна відстань до абонента (1 – мала (3 км або менше); 10 – велика (30 км або більше)).

3) Підтримка резервування (1 – відсутня; 10 – наявна).

4) Ефективність керування діями абонента (1 – надзвичайно мала або відсутня; 10 – можливе ефективне керування).

5) Доступність обладнання (1 – низький рівень; 10 – високий рівень).

6) Доступність фахівців (1 – гостра нестача; 10 – широкий вибір спеціалістів).

7) Розповсюдженість технології (1 – не впроваджено взагалі; 10 – впроваджено та опрацьовано багатьма організаціями).

8) Рівень стандартизованості (1 – існує декілька проміжних варіантів реалізації; 10 – прийнятий стандарт).

9) Сумісність із середовищем передавання (1 – сумісний лише з одним типом середовища передавання з чітко визначеним одним набором характеристик середовища; 10 – сумісний з усіма типами середовища передавання з визначеними декількома наборами характеристик середовища).

10) Сумісність обладнання від різних виробників (1 – необхідне встановлення всього обладнання від одного виробника; 10 – дозволяє використовувати обладнання від значної кількості різних виробників).

Для кращого розуміння базових принципів пропонованої методики проведемо порівняльний аналіз таких технологій побудови мереж доступу: DOCSIS, ADSL, SHDSL, Ethernet, Wi-Fi, Wi-Max, ADSL2+, CDMA, Long Term Evolution (LTE) з точки зору їх застосування на телекомунікаційних мережах України.

Результати обчислення вагових коефіцієнтів за формулою (4) на основі матриці попарного порівняння (табл. 1) та результати бального оцінювання критеріїв на основі експертних висновків авторів цієї роботи для всіх об’єктів порівняння наведені в табл. 2.

Таблиця 1 – Попарне порівняння критеріїв експертної оцінки

| | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| **2** | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| **3** | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 |
| **4** | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| **5** | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 |
| **6** | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| **7** | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| **8** | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 |
| **9** | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 |
| **10** | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 |

Таблиця 2 – Бальні оцінки критеріїв порівняння вибраних технологій

| № з/п | Назва критерію (від 1 до 10 балів) | Ваговий коефіцієнт | Набори технологій побудови мереж доступу | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | DOCSIS | ADSL | SHDSL | Ethernet | Wi-Fi | Wi-Max | ADSL2+ | CDMA | LTE |
| 1 | Пропускна спроможність каналу зв’язку | 0,16 | 5 | 1 | 1 | 10 | 10 | 7 | 2 | 1 | 10 |
| 2 | Максимальна довжина ділянки | 0,16 | 9 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 10 | 10 |
| 3 | Підтримка резервування | 0,08 | 1 | 1 | 10 | 10 | 10 | 1 | 10 | 1 | 1 |
| 4 | Можливість керування діями абонента | 0,02 | 1 | 1 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 5 | Доступність обладнання | 0,08 | 5 | 10 | 10 | 10 | 10 | 5 | 10 | 4 | 1 |
| 6 | Доступність фахівців | 0,16 | 5 | 9 | 9 | 10 | 8 | 5 | 9 | 5 | 1 |
| 7 | Розповсюдженість технології | 0,02 | 5 | 10 | 10 | 10 | 10 | 2 | 10 | 3 | 1 |
| 8 | Рівень стандартизованості | 0,08 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 7 |
| 9 | Сумісність із середовищем передавання | 0,08 | 3 | 3 | 3 | 6 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 10 | Сумісність обладнання від різних виробників | 0,16 | 4 | 10 | 10 | 10 | 10 | 5 | 10 | 4 | 2 |

Аналіз результатів обчислення вагових коефіцієнтів за формулою (4) на основі матриці попарного порівняння та результати бального оцінювання критеріїв на основі експертних висновків для всіх об’єктів порівняння, а також виконання розрахункових операцій згідно з виразом (1) дозволяють зробити висновок щодо порівняння декількох об’єктів і вибрати найкращий з порівнюваних об’єктів (технологій). Відзначимо, що кількість балів (мінімум 1 бал, максимум 10 балів), присвоєних кожному критерію для кожного об’єкта порівняння, формується, спираючись на досвід фахівців (експертів) та показники (бажано задокументовані), що характеризують той чи інший об’єкт (технологію) порівняння.

На наступному кроці для визначення вагових коефіцієнтів $K_i$ $i$-го критерію знаходимо суму елементів матриці кожного рядка згідно з виразом (2), обчислюємо загальну суму елементів матриці, користуючись формулою (3), і насамкінець визначаємо нормоване значення вагового коефіцієнта $K_i$ $i$-го критерію за формулою (4). Результати розрахунків продемонстрували, що серед всіх критеріїв, за якими порівнювалися технології побудови мереж доступу, найбільший ваговий коефіцієнт набрали критерії “Пропускна спроможність каналу зв’язку”, “Максимальна відстань до абонента”, “Доступність фахівців” та “Сумісність обладнання від різних виробників”.

У результаті проведеного порівняльного аналізу найбільшу кількість балів набрала технологія Ethernet (Q = 8,24), друге місце зайняла технологія Wi-Fi (Q = 7,68), третє місце

зайняла технологія ADSL2+ (Q = 6,72), четверте, п'яте, шосте, сьоме, восьме та дев'яте місце розділили технології SHDSL, Wi-Max, ADSL, DOCSIS, CDMA та LTE відповідно. Таким чином, можна зробити висновок стосовно доцільності подальшого розгляду в якості перспективних для використання на телекомунікаційних мережах України наступних технологій побудови мереж доступу: Ethernet, Wi-Fi та ADSL2+.

**Висновки**

Отже, з вищевикладеного ми дійшли таких висновків:

1. Методика вибору перспективних технологій доступу на основі порівняльного аналізу дозволяє значно скоротити часові та фінансові затрати на проектування телекомунікаційної мережі за рахунок відсіювання частини технологічних рішень вже на стадії пре-ТЕО.

2. Критерії порівняння, запропоновані у статті, було вибрано виходячи з основних функціональних відмінностей технологій та їх особливостей з точки зору експлуатаційно-технічних параметрів, сервісних параметрів та параметрів обслуговування, а бальні оцінки – на основі досвіду авторів статті та показників, що характеризують ту чи іншу порівнювану технологію.

3. Проведений порівняльний аналіз телекомунікаційних технологій доступу дозволив визначити найбільш перспективні технології доступу в Україні на момент підготовки публікації.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1989. – 316 с.

2. Ногин В.Д. Упрощенный вариант метода анализа иерархий на основе нелинейной свертки критериев [електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.apmath.spbu.ru/ru/staff/nogin/nogin_p11.pdf

3. Сучасні телекомунікації: Мережі, технології, безпека, економіка, регулювання / [Довгий С.О., Воробієнко П.П., Гуляєв К.Д. та ін.] – К.: «Азимут-Україна», 2013. – 608 с.

4. Series J: Cable networks and transmission of television, sound programme and other multimedia signals. Interactive systems for digital television distribution. Second-generation transmission systems for interactive cable television services – IP cable modems: Recommendation ITU-T J.122. – [Чинний від 2007.12.01] – Telecommunication standardization sector of ITU, 2007. – 506 с. – (Міжнародний стандарт).

5. Series G: Transmission systems and media, digital systems and networks. Digital transmission systems – Digital sections and digital line system – Access networks. Asymmetric digital subscriber line (ADSL) transceivers: ITU-T Recommendation G.992.1 – [Чинний від 1999.06.01] – Telecommunication standardization sector of ITU, 1999. – 242 с. – (Міжнародний стандарт).

6. Series G: Transmission systems and media, digital systems and networks. Digital sections and digital line system – Access networks. Single-pair high-speed digital subscriber line (SHDSL) transceivers: ITU-T Recommendation G.991.2. – [Чинний від 2005.02.01] – Telecommunication standardization sector of ITU, 2005. – 34 с. – (Міжнародний стандарт).

7. IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements Part 3: Carrier sense multiple access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications: IEEE Std 802.3-2008. – [Чинний від 2008.12.26] – IEEE Computer Society, 2008. – 597 с. – (Міжнародний стандарт).

8. IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: IEEE Std 802.11 – 2007. – [Чинний від 2007.06.12] – IEEE Computer Society, 2007. – 1184 с. – (Міжнародний стандарт).

9. IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements. Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems: IEEE Std 802.16 – 2004. – [Чинний від 2004.10.1] – IEEE Computer Society, 2004. – 896 с. – (Міжнародний стандарт).

10. Series G: Transmission systems and media, digital systems and networks. Digital sections and digital line system – Access networks. Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) transceivers – Extended bandwidth ADSL2 (ADSL2plus): ITU-T Recommendation G.992.5. – [Чинний від 2003.05.01] – Telecommunication standardization sector of ITU, 2003. – 92 с. – (Міжнародний стандарт).

11. Series M: Detailed specifications of the terrestrial radio interfaces of International Mobile Telecommunications-2000 (IMT-2000) – Mobile, radiodetermination, amateur and related satellite services: ITU-R Recommendation M.1457-11. – [Чинний від 2013.02.01] – Radiocommunication Sector of ITU, 2013. – 1072 с. – (Міжнародний стандарт).

12. Series M: Detailed specifications of the terrestrial radio interfaces of International Mobile Telecommunications-Advanced (IMT-Advanced) – Mobile, radiodetermination, amateur and related satellite services: ITU-R Recommendation M.2012-1. – [Чинний від 2014.02.01] – Radiocommunication Sector of ITU, 2001. – 138 с. – (Міжнародний стандарт).

**REFERENCES**

1. Saaty, T. Decision-making. The Method of Analysis of Hierarchies. Moscow: Radio and Communications, 1989. Print.

2. Nogin, V.D. "A Simplified Version of the Analytic Hierarchy Process Based on Non-linear Convolution of Criteria." Computational Mathematics and Mathematical Physics 44.7 (2004): 1259-268. Print.

3. Dovhyi S.O., Vorobiienko P.P., Huliaiev K.D., and others. Modern Telecommunications: Networks, Technology, Safety, Economy, Regulation. Kyiv: Azimuth-Ukraine, 2013. 608. Print.

4. Series J: Cable networks and transmission of television, sound programme and other multimedia signals. Interactive systems for digital television distribution. Second-generation transmission systems for interactive cable television services – IP cable modems: Recommendation ITU-T J.122. – Telecommunication standardization sector of ITU, 2007. – 506 c.

5. Series G: Transmission systems and media, digital systems and networks. Digital transmission systems – Digital sections and digital line system – Access networks. Asymmetric digital subscriber line (ADSL) transceivers: ITU-T Recommendation G.992.1 – Telecommunication standardization sector of ITU, 1999. – 242 c.

6. Series G: Transmission systems and media, digital systems and networks. Digital sections and digital line system – Access networks. Single-pair high-speed digital subscriber line (SHDSL) transceivers: ITU-T Recommendation G.991.2. – Telecommunication standardization sector of ITU, 2005. – 34 c.

7. IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements Part 3: Carrier sense multiple access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications: IEEE Std 802.3-2008. – IEEE Computer Society, 2008. – 597 c.

8. IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: IEEE Std 802.11 – 2007. – IEEE Computer Society, 2007. – 1184 c.

9. IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements. Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems: IEEE Std 802.16 – 2004. – IEEE Computer Society, 2004. – 896 c.

10. Series G: Transmission systems and media, digital systems and networks. Digital sections and digital line system – Access networks. Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) transceivers – Extended bandwidth ADSL2 (ADSL2plus): ITU-T Recommendation G.992.5. – Telecommunication standardization sector of ITU, 2003. – 92 c.

11. Series M: Detailed specifications of the terrestrial radio interfaces of International Mobile Telecommunications-2000 (IMT-2000) – Mobile, radiodetermination, amateur and related satellite services: ITU-R Recommendation M.1457-11. – Radiocommunication Sector of ITU, 2013. – 1072 c.

12. Series M: Detailed specifications of the terrestrial radio interfaces of International Mobile Telecommunications-Advanced (IMT-Advanced) – Mobile, radiodetermination, amateur and related satellite services: ITU-R Recommendation M.2012-1. – Radiocommunication Sector of ITU, 2001. – 138 c.