

ОЦІНКА РІВНЯ ГОТОВНОСТІ ОПЕРАТОРІВ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ ДО ВПРОВАДЖЕННЯ IPv6 НА ВЛАСНИХ МЕРЕЖАХ

Кантур В.А., Квятковський А.В.

*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,
65029, Україна, м. Одеса, вул. Кузнечна, 1.
vadim.kaptur@onat.edu.ua*

ОЦЕНКА УРОВНЯ ГОТОВНОСТИ ОПЕРАТОРОВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ К ВНЕДРЕНИЮ IPv6 НА СОБСТВЕННЫХ СЕТЯХ

Кантур В.А., Квятковский А.В.

*Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова,
65029, Украина, г. Одесса, ул. Кузнечная, 1.
vadim.kaptur@onat.edu.ua*

ESTIMATING OF THE PREPAREDNESS LEVEL OF TELECOMMUNICATIONS OPERATORS FOR THE INTRODUCTION OF IPv6 IN THE OWN NETWORKS

Kaptur V.A., Kviatkovsky A.V.

*O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications,
1 Kovalska St., Odessa, 65029, Ukraine.
vadim.kaptur@onat.edu.ua*

Анотація. Проведено порівняльний аналіз основних технологій забезпечення спільної роботи телекомунікаційних мереж, які побудовано з використанням різних версій протоколу IP: подвійний стек; тунелювання та інкапсуляція; трансляція протоколів. Виділено дві групи факторів: фактори, що потенційно впливатимуть на вибір технічного способу міграції на стек протоколів IPv6 та фактори, що в цілому визначають доцільність міграції незалежно від технічного способу міграції. Запропонована методика оцінки рівня готовності операторів телекомунікацій до впровадження IPv6 на власних мережах, що базується на використанні модифікованого методу аналізу ієрархій. Проведене експертне оцінювання рівня впровадження протоколу IPv6 на мережах операторів телекомунікацій України із залученням широкого кола експертів з телекомунікаційних компаній різного масштабу. Надані розрахунки дозволили визначити фактори, що з точки зору операторів телекомунікацій найбільшим чином впливають на міграцію до IPv6 в Україні на час підготовки публікації.

Ключові слова: IPv4, IPv6, міграція, подвійний стек, тунелювання та інкапсуляція, трансляція протоколів.

Аннотация. Проведен сравнительный анализ основных технологий обеспечения совместной работы телекоммуникационных сетей, построенных с использованием различных версий протокола IP: двойной стек; тунелирование и инкапсуляция; трансляция протоколов. Выделены две группы факторов: факторы, которые будут влиять на выбор технического способа миграции к стеку протоколов IPv6 и факторы, которые в целом определяют целесообразность миграции независимо от технического способа. Предложена методика оценки уровня готовности операторов телекоммуникаций к внедрению IPv6 на собственных сетях, базирующаяся на использовании модифицированного метода анализа иерархий. Проведена экспертная оценка уровня внедрения протокола IPv6 на сетях операторов телекоммуникаций Украины с привлечением широкого круга экспертов из телекоммуникационных компаний различного масштаба. Приведенные расчеты позволили определить факторы, которые с точки зрения операторов телекоммуникаций в наибольшей степени влияют на миграцию к IPv6 в Украине на момент подготовки публикации.

Ключевые слова: IPv4, IPv6, миграция, двойной стек, тунелирование и инкапсуляция, трансляция протоколов.

Abstract. A comparative analysis of the key technologies to ensure collaboration of telecommunication networks that were built with using different versions of IP protocol: dual stack; tunneling and encapsulation; translation of the protocols. Two groups of factors are proposed: factors that will influence the choice of the technical migration way to the IPv6 stack and the factors that generally determine the feasibility of migration, regardless of the technical options. The method of estimating of the preparedness level of telecommunications operators for the introduction of IPv6 in the own networks is based on the use of the modified analytic hierarchy process was proposed. Expert assessment of IPv6 implementation in Ukraine with a wide range of experts from the telecommunication companies of various sizes was presented. These calculations allowed to determine the factors that from the perspective of telecommunications operators in the greatest impact on the migration to IPv6 in Ukraine at the time of publication.

Key words: IPv4, IPv6, migration, dual stack, tunneling and encapsulation, translation of the protocols.

Сьогодні Інтернет став глобальною мережею, що обслуговує мільярди користувачів по всьому світу. Це сталося, передусім, завдяки широкій доступності та зручності протоколу Інтернет (Internet Protocol – IP). Чинна, четверта (IPv4), версія цього протоколу була розроблена понад 35 років тому та має значну кількість обмежень. З метою подолання цих обмежень було розроблено нову, шосту (IPv6), версію цього протоколу [1].

Незважаючи на численні технічні переваги в багатьох країнах світу процес впровадження цієї нової версії протоколу останнім часом дещо загальмувався. Розуміючи це, на національному рівні в багатьох країнах запровадили відповідні стратегії (або плани) наукових досліджень з метою прискорення розгортання цієї технології. Результатом цього стала поява множини технічних рішень, що можуть бути використані для розв’язання цієї задачі. За таких умов усе більшої складності набуло питання вибору не тільки конкретного технологічного рішення, а й підходу в цілому в залежності від тих чи інших умов.

Аналітичний огляд можливих підходів (технологій) до забезпечення спільної роботи телекомунікаційних мереж [1-3], побудованих з використанням різних версій протоколу IP, дозволяє виділити три основні групи: подвійний стек, механізми тунелювання та інкапсуляції, трансляція протоколів (рис. 1).

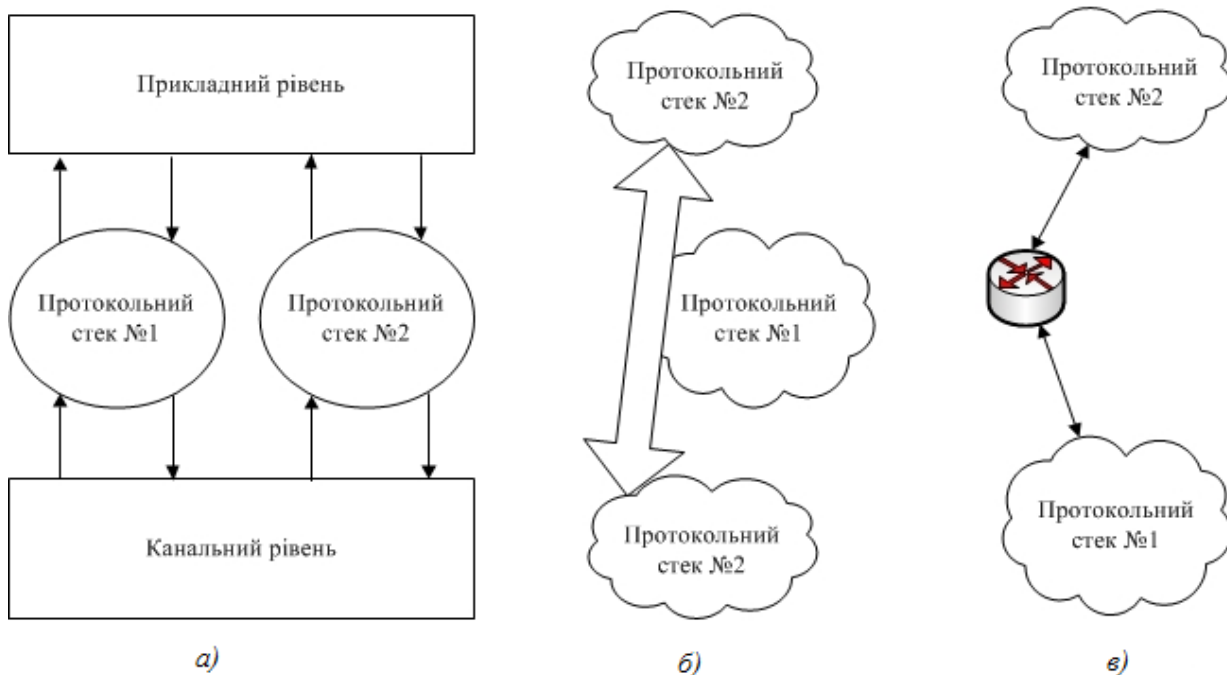


Рисунок 1 – Основні технології забезпечення спільної роботи телекомунікаційних мереж: а) подвійний стек; б) тунелювання та інкапсуляція; в) трансляція протоколів

Механізм подвійного стека (рис. 1,а) передбачає повну підтримку кінцевим пристроям та активним мережним обладнанням обох стеків протоколів одночасно. Він є найбільш простим способом забезпечення сумісності вузлів протокольного стека № 1 з вузлами, що підтримують лише протокольний стек № 2 (що є і його основною перевагою). Вузли, які підтримують обидва стеки протоколів умовно можна назвати вузлами «протокольний стек № 1/протокольний стек № 2». Такі вузли здатні передавати та отримувати блоки даних обох протокольних стеків, а також працювати у трьох режимах: протокольний стек № 1 увімкнено, а № 2 вимкнено; протокольний стек № 1 вимкнено, а № 2 увімкнено; увімкнені обидва стеки. До основних недоліків даного механізму слід віднести наступне:

- необхідність підтримки обох стеків протоколів активним мережним обладнанням;
- необхідність інсталяції та налаштування спеціального програмного забезпечення на кожному з вузлів, що потребує додаткових витрат як на оплату праці фахівців, так і на придбання відповідного програмного забезпечення;
- використання механізму подвійного стека підвищує вимоги до системних ресурсів вузлів мережі, що може викликати зменшення їх швидкодії.

Названі недоліки даного способу забезпечення сумісності телекомунікаційних мереж суттєво знижують його практичну цінність, та, як наслідок, доцільність використання.

При використанні механізмів тунелювання та інкапсуляції (рис. 1,б) блоки даних стека №2 інкапсулюються до блоків даних стека №1 та передаються по мережі стека № 1. При цьому обидва стеки повинні підтримуватись лише двома кінцевими маршрутизаторами. Даний механізм використовується для поєднання двох (або більше) мереж, які працюють за однаковою транспортною технологією, крізь транзитну мережу, що використовує транспортну технологію іншого виду. Механізм тунелювання полягає в тому, що кінцеві маршрутизатори, які підключають периферійні мережі до транзитної, інкапсулюють блоки даних стека №2 до блоків даних стека №1 і пересилають їх у транспортну мережу. На другому кінці транспортної мережі відбувається зворотній процес – маршрутизатор вилучає інкапсульований блок даних та надсилає його отримувачу. В залежності від того, який пристрій інкапсулює/деінкапсулює блоки даних, можна виділити три види тунелювання: “маршрутизатор – маршрутизатор”, “вузол – маршрутизатор”, “вузол – вузол”. Перевагою даного методу є відносна простота його реалізації та легкість створення тестової інфраструктури у приватній мережі, а основним недоліком – різке зростання протокольної надлишковості у мережі, що викликане необхідністю передавання додаткових службових заголовків, крім того, мережне обладнання транзитної мережі “не розуміє” змісту блоків даних, які передає, що у деяких випадках накладає певні обмеження на функціональність такої схеми, зокрема в областях керування мережею, діагностики несправностей тощо.

Трансляція протоколів (рис. 1, в) полягає у перетворенні блоків даних однієї версії протоколів у блоки даних іншої версії за визначеними правилами. Вона може виконуватись декількома способами в залежності від рівнів моделі OSI, які задіяні в процесі перетворення. Так, перший спосіб полягає в перетворенні лише полів каналного та мережного рівнів моделі, другий додатково торкається ще й транспортного рівня, а третій спосіб полягає у перетворенні блоків даних на прикладному рівні за допомогою проксі-серверу. Ступінь складності реалізації трансляції залежить не від того, якого рівня торкається перетворення, а від типу протоколів, що транслюються, вірніше, від того, наскільки вони відрізняються. Трансляцію протоколів можуть виконувати як маршрутизатори, так і програмні та апаратні шлюзи. Часто транслятор протоколів називають шлюзом, підкреслюючи, що трансляція виконується окремим пристроєм, який поєднує дві різні мережі. Переваги використання механізму трансляції протоколів полягають у наступному: немає необхідності в установленні додаткового програмного забезпечення на вузлах, зберігається звичне середовище для користувачів та мережних сервісів, усі аспекти міжмережної взаємодії локалізовані, що полегшує задачу адміністрування, пошуку несправностей, забезпечення безпеки тощо. До основних недоліків даного механізму належать наступні: транслятор зменшує швидкодію в

мережі, що пов'язано з відносно великими часовими витратами на складну процедуру трансляції, централізація обслуговування запитів до "чужої" мережі знижує надійність, при збільшенні числа користувачів і інтенсивності звернень до ресурсів іншої мережі різко знижується продуктивність – погана масштабованість.

Слід зазначити, що процес обрання рішення або підходу, або процес визначення стратегії технологічного розвитку тієї чи іншої мережі базується, як правило, на одному з трьох сценаріїв: аналіз кращих практик; експертне оцінювання; імітаційне моделювання (проектування) процесу будівництва та експлуатації мережі. В першому випадку рішення приймається на основі оцінки сучасних трендів в тій чи іншій сфері. Ключовою перевагою такого підходу є відносна простота та низький рівень трудовитрат, ключовим недоліком — здійснення висновку на базі неадаптованого до конкретних реалій досвіду. В другому випадку (експертне оцінювання) рішення приймається за допомогою експертного оцінювання з урахуванням чинної ситуації. Ключовою перевагою такого підходу є можливість урахування особливостей впровадження того чи іншого рішення або підходу в умовах конкретного оператора, конкретної країни тощо, ключовим недоліком — високий рівень суб'єктивності та відсутність деталізованої економічної оцінки. В третьому, останньому випадку, власники телекомунікаційних мереж звертаються до послуг професійних проектувальників, які, здійснюючи комплексний техніко-економічний аналіз (в формі імітаційного моделювання), забезпечують підтримку вірного (з певною вірогідністю) рішення. Ключовою перевагою такого сценарію є високий рівень об'єктивності та можливість здійснення економічної оцінки, а очевидним недоліком є відносна складність та великий рівень трудовитрат порівнянно із іншими підходами.

Одним зі шляхів мінімізації рівня трудовитрат третього з перелічених сценаріїв є здійснення двокрокового вибору за якого здійснюються попередні дослідження, що ставлять за мету «відсіяти» заздалегідь недоцільні для розгляду підходи (технологічні рішення) та сконцентруватися лише на тих технологіях, вибір яких є менш очевидним та потребує детального техніко-економічного обґрунтування.

Метою статті є розробка методики попередньої оцінки рівня готовності операторів телекомунікацій до впровадження IPv6 на власних мережах.

На попередніх етапах дослідження [5] була запропонована параметрична модель, що відображає основні фактори, які впливають на процес переходу з IPv4 до IPv6. Для більшості з розглянутих параметрів представлені одиниці виміру, а також зроблені припущення щодо впливу на той чи інший вид витрат.

У запропонованій параметричній моделі представлені такі фактори: попит зовнішній, попит внутрішній, наявність сертифікованого обладнання та програмного забезпечення на ринку конкретної країни, необхідність підключення до зовнішніх мереж, наявність кваліфікованих працівників (зовнішній фактор), наявність кваліфікованих працівників (внутрішній фактор), провайдерське середовище та стан зовнішньої інфраструктури, стан внутрішньої інфраструктури, наявність обладнання у клієнтів (абонентів), політика держави (регіону).

Для визначення найбільш перспективної технології переведення телекомунікаційних мереж з IPv4 до IPv6 в конкретних умовах доцільно поділити зазначені фактори на дві групи. Перша група – фактори, які потенційно впливатимуть на вибір технічного способу міграції на стек протоколів IPv6.

До цієї групи можна віднести:

1. Наявність сертифікованого обладнання та програмного забезпечення на ринку конкретної країни. Зовнішній фактор, який залежить від сертифікаційної політики конкретної країни, що дозволяє або забороняє до використання на мережах загального користування обладнання, або програмного забезпечення, що підтримує стек протоколів IPv6. Цей фактор здатний впливати на вибір технічного способу міграції. Так, до прийняття відповідних законодавчих рішень можливе використання існуючого обладнання та програмного забезпечення, або використання технологій, які одночасно підтримують обидва

стеки протоколів. Такі рішення є проміжними та в цілому збільшують час переходу до стека протоколів IPv6.

2. *Стан внутрішньої інфраструктури.* Фактор, що вказує на ступінь готовності наявного в телекомунікаційній мережі обладнання до використання в умовах зміни адресації на IPv6. Обмеженість ресурсів може спонукати до вибору технології міграції за якої потреба в заміні існуючого та придбання нового обладнання мінімальні. Цей фактор потенційно впливатиме на вибір технічного способу міграції.

3. *Наявність обладнання у клієнтів (абонентів).* Фактор, що відображає можливість підтримки стека протоколів IPv6 обладнанням абонента (робочими станціями, домашніми роутерами тощо). Фактор має вплив на вибір технічного способу міграції. Матеріальні витрати пов'язані з необхідністю закупівлі додаткового обладнання, що дозволило би здійснити підключення старого обладнання абонентів до оновленої мережної інфраструктури можуть мати вирішальне значення.

4. *Наявність кваліфікованих працівників (як внутрішній фактор).* У випадку, коли цей фактор є внутрішнім, він вимірюється значенням частини фахівців, які займаються налаштуванням та обслуговуванням конкретної телекомунікаційної мережі та володіють навичками роботи для переведення мереж з IPv4 до IPv6. Необхідність у зменшенні витрат (як матеріальних, так і часових) на підготовку та підвищення кваліфікації обслуговуючого персоналу потенційно може мати вирішальне значення у виборі технічного способу міграції.

5. *Наявність кваліфікованих працівників (як зовнішній фактор).* Цей фактор вимірюється значенням частини фахівців, які володіють відповідними навичками, серед усіх наявних фахівців на ринку праці. Як і попередній, цей фактор потенційно може мати вирішальне значення у виборі технічного способу міграції. Відсутність кваліфікованих працівників на ринку праці призводить до втрат часу та матеріальних ресурсів на їх підготовку.

До другої групи відносяться фактори, які в цілому визначають доцільність міграції незалежно від технічного способу:

1. *Необхідність підключення до зовнішніх мереж.* Якщо телекомунікаційна мережа не має необхідності підключення до зовнішнього мережного середовища та обміну інформацією з зовнішнім світом (мережі спеціальних служб, банківських установ тощо), то цей фактор може затримати перехід до нової схеми адресації, але не впливає на вибір технології. В даному випадку більшість інших зовнішніх факторів нівелюється.

2. *Попит (як зовнішній фактор).* Деякі інформаційні ресурси та сервіси стають доступними при використанні виключно стека протоколів IPv6. Цей фактор значною мірою спонукає на перехід до нового типу адресації. Але фактор зовнішнього попиту не має впливу на вибір технічного способу міграції.

3. *Попит (як внутрішній фактор).* Фактор є внутрішнім у випадку слабкої, або навпаки, значної зацікавленості серед клієнтів й абонентів телекомунікаційної мережі щодо переходу до нового типу адресації. Він може вимірюватись як відсоток зацікавлених абонентів. Як і зовнішній попит, попит внутрішній не впливає на вибір конкретної технології, а може розглядатися лише як загальний стимул до міграції.

4. *Провайдерське середовище та стан зовнішньої інфраструктури (3I).* Зовнішній фактор, який може бути визначальним для власника мережі. Вимірюється як відсоток операторів, серед усіх доступних на ринку для підключення конкретної телекомунікаційної мережі, що можуть забезпечити передавання IPv6 трафіка.

5. *Політика держави (регіону) щодо переходу до IPv6.* Зовнішній фактор, який визначає наявність спеціальних глобальних, регіональних або національних програм з координації дій щодо переходу з IPv4 до IPv6. Фактор має вплив, як на часові, так і на організаційні витрати, але не впливає на вибір технології міграції.

В основу пропонованої методики пропонується покласти спрощений варіант методу аналізу ієрархій [6,7], що використовує зважений показник на базі бальних оцінок низки факторів та їх вагових коефіцієнтів, обчислених шляхом їх попарного порівняння.

Особливістю обраного методу є те, що в процесі експертної сесії заслуховуються думки експертів та їх судження за розробленими критеріями (факторами) та здійснюється їх оцінка в кількісній формі. В результаті такої взаємодії експертів забезпечується об'єднання їх думок і, як результат, винесення узагальненої оцінки того чи іншого фактора відносно конкретного об'єкта порівняння.

До числа експертної групи увійшли фахівці провідних компаній України, що відповідають за міграцію власних мереж на IPv6. Серед них: компанія «Київстар» [www.kyivstar.ua] – найбільший оператор телекомунікацій України, який надає послуги зв'язку та передачі даних на основі широкого спектра мобільних і фіксованих технологій; компанія «ФРІНЕТ» [www.o3.ua], що є національним оператором широкосмугового доступу до мережі Інтернет; провайдер всеукраїнського масштабу «Мережа Ланет» [www.lanet.ua]; телекомунікаційна група «Vega» [www.vegatele.com] – один із найбільших представників українського ринку фіксованого зв'язку; компанії «SunNet» [www.sunnet.ua], «USCom» [http://www.us-com.net/] та Вищий спеціалізований суд України [www.sc.gov.ua/].

Для обчислення вагових коефіцієнтів зазначених вище факторів кожним із експертів сформовано порівняльні матриці розміром $n \times n$ елементів, де n – кількість факторів у кожній із груп (в нашому випадку $n = 5$). Кожен елемент матриці є результатом зваженого експертного порівняння i - та j -го факторів, де $i = 1 \dots n$ та $j = 1 \dots n$ – порядкові індекси факторів.

Для порівняння факторів між собою встановлено такі правила:

– якщо i - та j -й фактори вважаються рівнозначними, то елементи a_{ij} та a_{ji} також рівнозначні та дорівнюють 1. Таким чином елементи головної діагоналі матриці завжди дорівнюють 1;

– якщо за висновками експертів i -й фактор вважається вагомішим за j -й, то елемент матриці a_{ij} дорівнює 2, а елемент $a_{ji} = 0$;

– якщо за висновками експертів j -й фактор вважається вагомішим за ніж i -й, елемент a_{ji} дорівнює 2, а елемент $a_{ij} = 0$.

Таким чином у підготовлених експертами матрицях попарних порівнянь числове значення кожного із елементів відображає суб'єктивну думку експерта щодо важливості i -го фактора порівняно з j -м у конкретних умовах експертизи.

На наступному кроці визначено вагові коефіцієнти W_i i -го фактора на думку кожного із експертів. Для цього знайдено суму елементів матриці кожного рядка:

$$s_i = \sum_{j=1}^m a_{ij}, \quad i = 1 \dots n, \quad (1)$$

де n – кількість факторів.

Далі визначено загальну суму елементів у кожній матриці:

$$S_k = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_{ij} = \sum_{i=1}^m s_i. \quad (2)$$

Нормоване значення вагового коефіцієнта W_i i -го фактора обчислено за формулою:

$$W_i = \frac{s_i}{S_k}, \quad i = 1 \dots m. \quad (3)$$

Для отримання єдиної комплексної порівняльної оцінки декількох факторів застосуємо лінійну згортку виду:

$$Q = \sum_{i=1}^n W_i B_i, \quad (4)$$

де W_i – ваговий коефіцієнт i -го фактора; B_i – бальна оцінка i -го фактора.

На наступному кроці експертам було запропоновано оцінити за п'ятибальною шкалою (мінімум – 1 бал, максимум – 5 балів) вплив факторів першої групи на вибір технології міграції, спираючись на досвід та показники, що характеризують ту чи іншу технологію, а також вплив факторів другої групи на процес міграції в цілому, спираючись на свої знання про ситуацію в країні.

Результати обчислення вагових коефіцієнтів за формулою (3) на основі матриць попарного порівняння та результатів бального оцінювання факторів на основі експертних висновків надані в табл. 1 та 2.

Таблиця 1 – Оцінка факторів першої групи

Назва фактора	Ваговий коефіцієнт	Технології переведення телекомунікаційних мереж з IPv4 до IPv6		
		Тунелювання	NAT	Dual-Stack
Експерт 1				
Наявність сертифікованого обладнання та програмного забезпечення на ринку конкретної країни	0,28	4	4	4
Стан внутрішньої інфраструктури	0,04	2	4	3
Наявність обладнання у клієнтів (абонентів)	0,12	3	4	3
Наявність кваліфікованих працівників (як внутрішній фактор)	0,36	4	5	4
Наявність кваліфікованих працівників (як зовнішній фактор)	0,20	3	5	3
Єдина комплексна порівняльна оцінка		3,6	4,56	3,64
Експерт 2				
Наявність сертифікованого обладнання та програмного забезпечення на ринку конкретної країни	0,04	1	1	1
Стан внутрішньої інфраструктури	0,12	1	1	2
Наявність обладнання у клієнтів (абонентів)	0,20	3	3	3
Наявність кваліфікованих працівників (як внутрішній фактор)	0,36	4	5	3
Наявність кваліфікованих працівників (як зовнішній фактор)	0,28	3	5	3
Єдина комплексна порівняльна оцінка		3,04	3,96	2,8
Експерт 3				
Наявність сертифікованого обладнання та програмного забезпечення на ринку конкретної країни	0,08	2	2	2
Стан внутрішньої інфраструктури	0,08	2	2	2
Наявність обладнання у клієнтів (абонентів)	0,28	4	4	4
Наявність кваліфікованих працівників (як внутрішній фактор)	0,36	4	5	4
Наявність кваліфікованих працівників (як зовнішній фактор)	0,20	3	5	3
Єдина комплексна порівняльна оцінка		3,48	4,24	3,48

Назва фактора	Ваговий коефіцієнт	Технології переведення телекомунікаційних мереж з IPv4 до IPv6		
		Тунелювання	NAT	Dual-Stack
Експерт 4				
Наявність сертифікованого обладнання та програмного забезпечення на ринку конкретної країни	0,12	3	3	3
Стан внутрішньої інфраструктури	0,04	2	2	2
Наявність обладнання у клієнтів (абонентів)	0,20	4	4	4
Наявність кваліфікованих працівників (як внутрішній фактор)	0,28	4	5	4
Наявність кваліфікованих працівників (як зовнішній фактор)	0,36	4	5	5
Єдина комплексна порівняльна оцінка		3,8	4,44	4,16
Експерт 5				
Наявність сертифікованого обладнання та програмного забезпечення на ринку конкретної країни	0,20	3	4	4
Стан внутрішньої інфраструктури	0,04	3	2	2
Наявність обладнання у клієнтів (абонентів)	0,12	3	4	3
Наявність кваліфікованих працівників (як внутрішній фактор)	0,36	5	5	5
Наявність кваліфікованих працівників (як зовнішній фактор)	0,28	5	4	4
Єдина комплексна порівняльна оцінка		4,28	4,28	4,16
Експерт 6				
Наявність сертифікованого обладнання та програмного забезпечення на ринку конкретної країни	0,12	3	3	3
Стан внутрішньої інфраструктури	0,04	1	2	2
Наявність обладнання у клієнтів (абонентів)	0,20	4	4	4
Наявність кваліфікованих працівників (як внутрішній фактор)	0,32	4	4	5
Наявність кваліфікованих працівників (як зовнішній фактор)	0,32	4	5	4
Єдина комплексна порівняльна оцінка		3,76	4,12	4,12
Експерт 7				
Наявність сертифікованого обладнання та програмного забезпечення на ринку конкретної країни	0,04	2	2	2
Стан внутрішньої інфраструктури	0,12	3	3	3
Наявність обладнання у клієнтів (абонентів)	0,20	3	4	4
Наявність кваліфікованих працівників (як внутрішній фактор)	0,36	5	5	5
Наявність кваліфікованих працівників (як зовнішній фактор)	0,28	4	5	5
Єдина комплексна порівняльна оцінка		3,96	4,44	4,44

Результати розрахунків показали, що серед усіх факторів, які потенційно впливатимуть на вибір технічного способу міграції на стек протоколів IPv6 (перша група), найбільш значними виявились «Наявність кваліфікованих працівників (як внутрішній фактор)» та «Наявність кваліфікованих працівників (як зовнішній фактор)», що пояснюється певним дефіцитом фахівців, що мають досвід розгортання IPv6 мереж на локальному ринку праці. Крім того, достатньо вагомим фактором є «Наявність сертифікованого обладнання та програмного забезпечення» зважаючи на його вплив на загальну вартість міграції.

У результаті проведеного порівняльного аналізу першої групи факторів, технології міграції на стек протоколів IPv6 розташувались наступним чином: трансляція протоколів (NAT) – 30,04 балів; подвійний стек – 26,8 балів; тунелювання та інкапсуляція 25,9 балів.

Таблиця 2 – Оцінка факторів другої групи

Назва фактора	Ваговий коефіцієнт	Бальна оцінка
Експерт 1		
Необхідність підключення до зовнішніх мереж	0,16	1
Попит (як зовнішній фактор)	0,36	5
Попит (як внутрішній фактор)	0,16	1
Провайдерське середовище та стан ЗІ	0,16	1
Політика держави (регіону) щодо переходу до IPv6	0,16	1
Єдина комплексна порівняльна оцінка		2,44
Експерт 2		
Необхідність підключення до зовнішніх мереж	0,20	1
Попит (як зовнішній фактор)	0,20	1
Попит (як внутрішній фактор)	0,20	1
Провайдерське середовище та стан ЗІ	0,20	1
Політика держави (регіону) щодо переходу до IPv6	0,20	1
Єдина комплексна порівняльна оцінка		1
Експерт 3		
Необхідність підключення до зовнішніх мереж	0,20	1
Попит (як зовнішній фактор)	0,20	1
Попит (як внутрішній фактор)	0,20	1
Провайдерське середовище та стан ЗІ	0,20	1
Політика держави (регіону) щодо переходу до IPv6	0,20	1
Єдина комплексна порівняльна оцінка		1
Експерт 4		
Необхідність підключення до зовнішніх мереж	0,16	1
Попит (як зовнішній фактор)	0,36	2
Попит (як внутрішній фактор)	0,16	1
Провайдерське середовище та стан ЗІ	0,16	1
Політика держави (регіону) щодо переходу до IPv6	0,16	1
Єдина комплексна порівняльна оцінка		1,36
Експерт 5		
Необхідність підключення до зовнішніх мереж	0,16	1
Попит (як зовнішній фактор)	0,36	3
Попит (як внутрішній фактор)	0,16	1
Провайдерське середовище та стан ЗІ	0,16	1
Політика держави (регіону) щодо переходу до IPv6	0,16	1
Єдина комплексна порівняльна оцінка		1,72

Назва фактора	Ваговий коефіцієнт	Бальна оцінка
Експерт 6		
Необхідність підключення до зовнішніх мереж	0,16	1
Попит (як зовнішній фактор).	0,36	2
Попит (як внутрішній фактор)	0,16	1
Провайдерське середовище та стан ЗІ	0,16	1
Політика держави (регіону) щодо переходу до IPv6	0,16	1
Єдина комплексна порівняльна оцінка		1,36
Експерт 7		
Необхідність підключення до зовнішніх мереж	0,20	1
Попит (як зовнішній фактор)	0,20	1
Попит (як внутрішній фактор)	0,20	1
Провайдерське середовище та стан ЗІ	0,20	1
Політика держави (регіону) щодо переходу до IPv6	0,20	1
Єдина комплексна порівняльна оцінка		1

Із табл. 2 бачимо, що серед факторів, які в цілому визначають доцільність міграції незалежно від технічного способу, найбільш ваговий коефіцієнт має «Попит (як зовнішній фактор)».

Отже, з вищевикладеного ми дійшли таких висновків:

1. Найбільш визначальним, на думку експертного середовища, фактором, що сьогодні стримує процес міграції з IPv4 до IPv6 в Україні, є відсутність попиту на використання нового стека з боку абонентів, що пояснюється відносно незначною кількістю ресурсів, які доступні сьогодні лише за допомогою протоколу IP шостої версії.

2. Найбільш впливовим фактором, що визначає конкретний спосіб міграції з IPv4 до IPv6 в Україні, є наявність кваліфікованих працівників. З урахуванням цього найбільш перспективною технологією, що сьогодні забезпечує поєднання цих двох стеків, залишається технологія NAT.

3. Запропонована методика попередньої оцінки рівня готовності операторів телекомунікацій до впровадження IPv6 на власних мережах дозволяє здійснювати регулярну діагностику стану переходу до нової версії протоколу IPv6 у різних країнах світу. Комплексний аналіз результатів таких досліджень дозволить приймати необхідні управлінські рішення, що сприятимуть своєчасному вирішенню найбільш актуальних, на думку експертного середовища, питань міграції з IPv4 до IPv6.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Silvia Hagen, IPv6 Essentials: Integrating IPv6 into Your IPv4 Network / Silvia Hagen - Published by O'Reilly Media, Inc., 2014 p. – 414 стор.
2. Peter H. Salus, Big Book of IPv6 Addressing / Peter H. Salus - Morgan Kaufmann Publishers Inc. San Francisco, CA, USA, 2000p. – 327 стор.
3. Cricket Liu, DNS and BIND on IPv6 / Cricket Liu – Published by O'Reilly Media, Inc., 2011 p, 41 стор.
4. Loshin, Peter, IPv6 : theory, protocol, and practice/Pete Loshin. – 2nd ed.,Morgan Kaufmann Publishers is an Imprint of Elsevier, San Francisco, CA 2004p, 530 стор.
5. Каптур В.А. Аналіз факторів впливу на процес заміни адресного простору IPv4 адресним простором IPv6 в телекомунікаційних мережах / В.А. Каптур, А.В. Квятковський, О.В. Степаненко // Цифрові технології. – 2016. – №19. – С. 21-25.

6. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Саати Т. – М.: Радио и связь, 1989. – 316 с.
7. Ногин В.Д. Упрощенный вариант метода анализа иерархий на основе нелинейной свертки критериев [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.apmath.spbu.ru/ru/staff/nogin/nogin_p11.pdf.

REFERENCES:

1. Silvia Hagen, IPv6 Essentials: Integrating IPv6 into Your IPv4 Network / Silvia Hagen – Published by O'Reilly Media, Inc., 2014 p. – 414 стор.
2. Peter H. Salus, Big Book of IPv6 Addressing / Peter H. Salus - Morgan Kaufmann Publishers Inc. San Francisco, CA, USA, 2000p. – 327 стор.
3. Cricket Liu, DNS and BIND on IPv6 / Cricket Liu – Published by O'Reilly Media, Inc., 2011 p, 41 стор.
4. Loshin, Peter, IPv6 : theory, protocol, and practice/Pete Loshin.— 2nd ed.,Morgan Kaufmann Publishers is an Imprint of Elsevier, San Francisco, CA 2004p, 530 стор.
5. Kaptur V.A. Analysis of influence factors on the process of parlacement of IPv4 address space by IPv6 address space in tellecommunication networks / V.A. Kaptur, A.V. Kviatkovsky, O.V. Stepanenko // Digital Technologies: Collection / Ukr., Odessa: O.S. Popov Odessa National Academy of Telecommunications, 2016. – No. 19. – P. 21-25.
6. Saaty, T. Decision-making. The Method of Analysis of Hierarchies. Moscow: Radio and Communications, 1989. Print.
7. 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.