

**АЛГОРИТМ ВИБОРУ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ В УМОВАХ НИЗЬКОГО РІВНЯ РОЗВИТКУ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ**

Інститут аерокосмічних систем управління НАУ, e-mail: iacs@nau.edu.ua

*В статті розглядається алгоритм вибору телекомунікаційних засобів для надання розширеної номенклатури телекомунікаційних послуг населенню в умовах низького рівня існуючої телекомунікаційної інфраструктури. Проводиться перевірка електромагнітної сумісності (ЕМС) нових засобів з існуючими телекомунікаційними засобами, ранжування результатів на основі оцінки показників інвестиційних проектів щодо впровадження варіантів телекомунікаційних мереж.*

**Ключові слова:** телекомунікаційні засоби, електромагнітна сумісність, GSM, CDMA

**Вступ.** Наразі у значній частини населення і організацій країни існує проблема отримання якісних телекомунікаційних послуг. Якщо у великих містах функціонують ряд телекомунікаційних мереж, то в малих і середніх населених пунктах з числом мешканців від 5 до 100 тис. чоловік вказана проблема залишається актуальною. Це пов'язано насамперед з тим, що оператори телекомунікаційних послуг не розглядають подібні місця, як потенційно прибуткові ринки і не вважають за потрібне інвестувати кошти у розвиток відповідної інфраструктури. Населення, школи, лікарні і підприємства таких населених пунктів є потенційними споживачами широкого спектру послуг. Забезпечення цього попиту має соціальне значення. Тому актуальним можна вважати створення умов для швидкого і економічно обґрунтованого впровадження телекомунікаційних засобів, які дозволили б надавати кінцевим абонентам широку номенклатуру послуг на відповідному якісному рівні.

**Постановка завдання.** Одним із засобів, що сприяють розв'язанню проблеми є побудова алгоритмів, на основі використання яких із урахуванням існуючої телекомунікаційної інфраструктури та місцевих умов, можна запропонувати декілька варіантів розгортання телекомунікаційної мережі, які є кращими з можливих за встановленими критеріями оцінки.

**Алгоритм вибору телекомунікаційних засобів.** Повна номенклатура послуг населенню є відомою. Для оцінки необхідної структури та параметрів телекомунікаційної мережі для надання певних послуг, необхідно задану номенклатуру послуг, що надається у населеному пункті, поділити на групи, які потребують подібні характеристики каналу зв'язку. Телекомунікаційні послуги  $N$  можна згрупувати у 5 груп (табл. 1) за специфічними вимогами до ключових параметрів телекомунікаційної мережі [1 – 3]:  $\{p_1, p_2, \dots, p_5\}$ , де  $p$  - номер групи, у яку входить певний набір послуг.

Таблиця 1

Поділ телекомунікаційних послуг на групи

№ групи	Послуги
1	2
1	1. Дротовий та бездротовий доступ до мережі Інтернет; 2. Електронна пошта; 3. IP-радіо; 4. Інші сервіси, що ґрунтуються на мережі Інтернет (ICQ, завантаження мелодій, малюнків тощо). 5. Бездротовий телефонний зв'язок; 6. Служба коротких повідомлень; 7. Мультимедійні повідомлення; 8. Роумінг.

1	2
2	1. Бездротовий доступ до мережі Інтернет; 2. Електронна пошта; 3. IP-радіо; 4. Інші сервіси, що ґрунтуються на мережі Інтернет (ICQ, завантаження мелодій, малюнків тощо). 5. Бездротовий телефонний зв'язок; 6. Служба коротких повідомлень; 7. Мультимедійні повідомлення; 8. Роумінг.
3	Телефонний зв'язок на базі мереж IP (VoIP).
4	IP-телебачення.
5	Відеозв'язок.

Населені пункти доцільно поділити на категорії  $K$  за критерієм відповідності кількості абонентів необхідним показникам мережі:

$$K = \Xi (K_{аб.тел.}, K_{аб.инт.}, Ш_{дост.инт.}, Tr_{на1аб.}), \quad (1)$$

де:  $\Xi$  - фіксований оператор;  $K_{аб.тел.}$  - середня кількість абонентів телефонного зв'язку;

$K_{аб.инт.}$  - середня кількість абонентів мережі Інтернет;  $Ш_{дост.инт.}$  - середня швидкість доступу до мережі Інтернет на одного абонента;  $Tr_{на1аб.}$  - середній трафік мережі Інтернет на одного абонента.

Використовуючи (1) населені пункти поділяються на 5 категорій, табл. 2.

Таблиця 2

Поділ населених пунктів на категорії за кількістю населення

№ категорії	Нас. пункти	Кількість населення, чол.
1	Малі села	100 – 1 тис.
2	Селища	1 тис. – 5 тис.
3	Малі міста	5 тис. - 10 тис.
4	Міста	10 тис. – 30 тис.
5	Великі міста	Понад 30 тис.

До регіонів з низьким рівнем розвитку телекомунікаційної інфраструктури віднесемо першу та другу категорії населених пунктів (відповідно  $k_1$  та  $k_2$ ). Кількість потенційних абонентів визначається за статистичними даними у конкретному регіоні.

На першому етапі будемо вважати достатнім надання першої групи послуг  $p_1$  населенню пунктів категорії  $k_1$ . Населені пункти другої категорії можуть включати школи, лікарні та органи державного управління. Тому даним населеним пунктам більше відповідає номенклатура послуг другої групи.

Для побудови математичної моделі вибору телекомунікаційних засобів необхідно створити базу даних з інформацією про існуючу телекомунікаційну інфраструктуру в населеному пункті. Оскільки неможливо охопити базою даних всі населені пункти, для кожної категорії доцільно обмежитися множиною типових випадків інфраструктури  $T^k = \{T_1^k, T_2^k, \dots, T_q^k\}$ , де  $k$  - номер категорії;  $q$  - кількість типових випадків.

Кожен з елементів множини  $T_i^k$  у свою чергу є множиною телекомунікаційних засобів  $T_i^k = \{t_{i1}^k, t_{i2}^k, \dots, t_{is}^k\}$ , де  $s$  - кількість телекомунікаційних засобів у  $i$ -ому випадку інфраструктури для населеного пункту категорії  $k$ . Кожен елемент  $t_{is}^k$  є множиною характеристик та параметрів певного типу телекомунікаційного обладнання  $t_{is}^k = \{s_{is1}^k, s_{is2}^k, \dots, s_{isn}^k\}$ , де  $n$  - кількість характеристик та параметрів, що враховуються при розрахунках.

У населених пунктах першої категорії за станом на кінець 2012 р. наявна телекомунікаційна інфраструктура багатьох національних GSM провайдерів. Будь-який тип обладнання базової станції GSM підтримує доступ до мережі Інтернет за технологією CSD. З великою ймовірністю це обладнання підтримує протокол пакетної передачі GPRS для надання абонентам доступу до мережі Інтернет на швидкостях більших за CSD на один порядок. Вдосконалена радіотехнологія EGPRS або EDGE дозволяє підвищити швидкість доступу до мережі у двічі та більш ефективно використовує радіочастотний ресурс завдяки ефективним методам модуляції. Для використання радіотехнології EDGE базові станції потребують апаратної модифікації, а термінальне обладнання повинно підтримувати цю технологію. Заносимо існуючі телекомунікаційні засоби та магістральні лінії зв'язку у множину телекомунікаційних засобів, що складають існуючу інфраструктуру у даному районі

$$T^1 = \{T_1^1, T_2^1, \dots, T_q^1\}.$$

У населених пунктах другої категорії можуть бути прокладені магістральні лінії зв'язку до опорно-транзитної автоматичної телефонної станції (ОТАТС) дротового телефонного зв'язку, а інфраструктура мобільного зв'язку 2-го, 2,5-го є більш розвинутою. Існує ймовірність наявності зв'язку 3-го покоління. Множина засобів

$$T^2 = \{T_1^2, T_2^2, \dots, T_{q_i}^2\}.$$

База даних повинна містити інформацію щодо телекомунікаційних засобів, а саме: середню швидкість на одного абонента, затримку пакетів даних, ширину частотної смуги каналу зв'язку з магістральною лінією зв'язку, можливість вдосконалення, час та витрати на модернізацію, територіальне положення, інтерфейси та протоколи підключення до магістральної лінії зв'язку, тощо.

Місцеві умови значно впливають на можливість використання певної технології. Перша та друга категорії населених пунктів належать переважно до сільської місцевості. Тому перевагу доцільно надати радіотехнологіям. Умови поширення радіохвиль будемо характеризувати за допомогою множини  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ , а характер забудови -  $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_{un}\}$ . Типовими є випадки, коли радіотраса проходить над ділянками з різним характером забудови. В умовах низького рівня розвитку телекомунікаційної інфраструктури основною проблемою для побудови мережі є пошук точки присутності оператора (ТПО).

Для виявлення можливості під'єднання до магістральних телекомунікаційних ліній зв'язку необхідно проаналізувати існуючу телекомунікаційну інфраструктуру заданого регіону. За результатами аналізу заповнюється база даних інформацією про магістральні лінії зв'язку ( $t_{is}^k$ ). З'єднання телекомунікаційних мереж регулюються правилами, що встановлюються Національною комісією з питань регулювання зв'язку України [4]. Необхідно також враховувати потребу в нових магістральних лініях зв'язку.

База даних повинна включати також інформацію економічного характеру, а саме: вартість обладнання, вартість будівельно-монтажних та налагоджувальних робіт, терміни розгортання засобів.

Вибір телекомунікаційних засобів, що задовольняють вимогам до мережі для певної групи послуг, відбувається наступним чином.

Параметри мережі варіанту телекомунікаційної мережі для певного виду послуг представляються вектором:

$$X_i = \{x_1; x_2; \dots; x_n\}, \quad (2)$$

де  $i$  – номер певного набору послуг.

Для кожного виду послуг задаються ключові параметри, які однозначно характеризують вимоги до мережі. Наприклад: час затримки пакетів, ймовірність втрати пакету, тремтіння фази, мінімальна/середня/пікова швидкість на одного абонента при номінальному навантаженні обладнання, максимальна кількість абонентів, що може обслуговуватися, тощо. Для кожного параметру з (2) потрібно визначити вектор вагових коефіцієнтів:

$$X_{v_i} = \{x_{v1}; x_{v2}; \dots; x_{vn}\}. \quad (3)$$

Вагові коефіцієнти відображають рівень значимості параметра і можуть визначатися на основі експертних оцінок. Мають значення у діапазоні  $[0...1]$ . Коефіцієнти відображають

«чутливість» конкретної послуги до певного параметру телекомунікаційної мережі. Наприклад, послуга «Електронна пошта» не є додатком реального часу. Для неї параметр «затримка» не є критичним, параметр «втрата пакетів», до певної міри, також. Швидкість передачі даних обмежується тільки рівнем комфортності користувача.

Протилежна ситуація складається з послугою «IP - радіо». Використовується протокол UDP, який не передбачає контролю за втраченими пакетами оскільки «час життя» пакету обмежений. До параметра «затримка» цей протокол більш чутливий тому, що ця послуга вважається додатком реального часу. Середня швидкість передачі даних повинна бути більшою від швидкості передачі потоку, який задається у (2).

Для оцінки відповідності того чи іншого набору обладнання визначимо ключові параметри мережі, що будується. Вектор параметрів певного типу обладнання задається у базі даних у вигляді:

$$W_j = \{w_1; w_2; \dots; w_m\},$$

де:  $j$  – ідентифікаційний номер певного типу обладнання,  $m$  – порядковий номер параметру.

У подальшому з вектору параметрів утворюються підмножини параметрів для кожного виду послуг:

$$W_j^i = \{w_x; w_y; \dots; w_z\} \quad (4)$$

**Вибір телекомунікаційних засобів, що задовольняють вимогам до певного варіанту мережі.** Проводиться пошук серед множини  $M$  телекомунікаційних засобів елементів, які б разом з існуючою інфраструктурою утворили множини засобів  $\Lambda = \{K_{\Pi}^1, K_{\Pi}^2, \dots, K_{\Pi}^k\}$ , що забезпечують надання послуг із заданою якістю. Відповідність параметрів певного типу обладнання заданому набору послуг визначається таким чином (на основі (2) – (4)):

$$K_{\Pi_i}^k = \prod_{ii=1}^n \frac{W_k^i \{w_{ii}\}}{X_i \{x_{ii}\}} \left| \begin{array}{l} \text{якщо } > 1, \text{ то } = 1 \\ \text{якщо } < 1, \text{ то } = X_j \{x_{\text{вн}}\} \end{array} \right.$$

де:  $k$  – порядковий номер обладнання, що перевіряється,  $i$  – порядковий номер конкретної послуги,  $ii$  – порядковий номер певного параметру.

В результаті,  $K_{\Pi_i}^k$  приймає значення у межах  $0 \dots 1$ , де значення «1» означає, що обладнання повністю відповідає критеріям якості на певний вид послуг, а «0» – не відповідає.

Відповідність параметрів певного типу обладнання усім заданим наборам послуг з урахуванням існуючої інфраструктури визначається таким чином:

$$K_{\Pi}^k = \left( \prod_{i=1}^n K_{\Pi_i}^k \right) \cdot I_k, \quad (5)$$

де:  $n$  – кількість видів послуг.

Отримуємо множину телекомунікаційних засобів

$$\Lambda = \{K_{\Pi}^1, K_{\Pi}^2, \dots, K_{\Pi}^k\}, \quad (6)$$

які разом з існуючою інфраструктурою забезпечують надання послуг із заданою якістю.

**Відповідність варіантів мережі критерію ЕМС з іншими радіоелектронними засобами (РЕЗ).** Оцінка ЕМС РЕЗ є необхідною. Процедури оцінки наведені у [5]. Дані для розрахунків знаходяться у підмножині параметрів множини  $M$ .

**Оцінка показників інвестиційних проектів щодо впровадження варіантів телекомунікаційних мереж.** У більшості випадків на практиці для оцінки ефективності інвестиційних проектів використовують наступні показники:

- чиста поточна вартість, або чистий дисконтований дохід (NPV);
- дисконтований термін окупності (DPB);
- внутрішня норма рентабельності (доходності, прибутковості) (IRR або  $r_{\text{вн}}$ ).

Чистий дисконтований дохід (Net Present Value) визначається за формулою:

$$NPV = \sum_{i=0}^t \frac{CF_i}{(1+r)^i} + \frac{RV}{(1+r)^{t+1}}, \quad (7)$$

де  $CF_i$  - чистий грошовий потік (різниця між доходами і витратами) на  $i$  - му етапі реалізації проекту;  $RV$  - залишкова вартість проекту;  $r$  - вартість капіталу, залученого до проекту (норма дисконту);  $t$  - кількість часових інтервалів  $i$  реалізації проекту (горизонт розрахунку).

Дисконтований термін окупності інвестицій (Discounted Pay-back) – це період часу від початку реалізації проекту, необхідний для того, щоб значення NPV за проектом досягли позитивного значення. Значення  $T_0$  знайти шляхом пошуку інтервалу проекту  $t'$ , в якому

$$\sum_{i=0}^{t'-1} \frac{CF_i}{(1+r)^i} < 0; \quad \sum_{i=0}^{t'} \frac{CF_i}{(1+r)^i} \geq 0 \quad (8)$$

а також підсумовування часової тривалості етапів  $T_0 = \sum_{i=1}^{t'} T_i$ .

Внутрішня норма доходності чи рентабельності (Internal Rate of Return) є тією граничною нормою дисконтування за якою в межах терміну реалізації проекту значення NPV дорівнює нулю, тобто на кінцевому етапі реалізації проекту доходи компенсують капіталовкладення та інші витрати. Внутрішня норма рентабельності знаходиться з рівняння:

$$\sum_{i=0}^t \frac{CF_i}{(1+IRR)^i} = 0 \quad (9)$$

Ставка IRR дає можливість порівняти прибутковість інвестиційного проекту з можливістю інвестування капіталу в альтернативні фінансові інструменти.

Якщо  $IRR \geq r$  - проект прибутковий, якщо  $IRR < r$  - збитковий.

При порівнянні варіантів інвестиційного проекту, які відрізняються обсягом інвестицій і поточними витратами, найбільш ефективний варіант можна визначити за мінімумом приведених витрат

$$E_{np} = \sum_{i=0}^t \frac{K_i}{(1+r)^i} + (1+\gamma) \sum_{i=0}^t \frac{C_i}{(1+r)^i}, \quad (10)$$

де  $\gamma$  - доля податкових відрахувань з прибутку;  $C_i$  - поточні (експлуатаційні) витрати на  $i$ -му етапі проекту.

Слід зауважити, що впровадження розширеної номенклатури телекомунікаційних послуг є соціальною програмою, яка повинна підтримуватися державою, проекти можуть бути збитковими або з сильно розтягнутим терміном окупності.

**Висновки.** Запропонований алгоритм вибору телекомунікаційних засобів для надання розширеної номенклатури телекомунікаційних послуг населенню в умовах низького рівня існуючої телекомунікаційної інфраструктури в результаті реалізації може служити ефективним засобом отримання інформації технічного та економічного характеру щодо можливих варіантів побудови телекомунікаційних мереж.

### Список літератури

1. Шринивас Вегешна Качество обслуживания в сетях IP. : Пер. с англ. — М. : Издательский дом "Вильямс", 2003. — 368 с.
2. Jerry Ash, Jim Hand (August 28, 2006) Requirements for SIP-based VoIP Interconnection URL <http://tools.ietf.org/id/voip>
3. А.В. Засецкий, А.В. Иванов, С.Д. Постников, И.В. Соколов, Контроль качества в телекоммуникациях и святы. Часть 2, под ред.. А.Б. Иванова – М.: Компания САЙРУС СИСТЕМС, 2001. – 335 с
4. Рішення Національної комісії з питань регулювання зв'язку України. Правила взаємоз'єднання телекомунікаційних мереж загального користування. Затверджено 08.12.2005р. № 155.
5. Иванов В.О., Решетник М.В., Бондаренко Д.П. Алгоритм розрахунку норм частотно-територіального рознесення радіоелектронних засобів. – К.: Вісник ДУІКТ. – 2007. – Том5(3). – С.262 – 270.с.

Л.В. Сибрук, Д.П. Бондаренко

**Алгоритм выбора телекоммуникационных средств в условиях низкого уровня развития телекоммуникационной инфраструктуры**

В статье рассматривается алгоритм выбора телекоммуникационных средств для предоставления расширенной номенклатуры телекоммуникационных услуг населению в условиях низкого уровня существующей телекоммуникационной инфраструктуры. Проводится проверка выбранных средств на электромагнитную совместимость с существующими телекоммуникационными средствами и системами, сортировка результатов на основе оценки показателей инвестиционных проектов по внедрению вариантов телекоммуникационных средств.

L.V. Sibruk, D.P. Bondarenko

**Algorithm for choosing the telecommunication means in a low level development of telecommunications infrastructure**

The article is devoted to algorithm of telecommunications facilities choice in order to provide the given set of telecommunications services to the population in conditions of low-level telecommunications infrastructure. The check of the chosen means on electromagnetic compatibility criteria with existing telecommunication systems is considered. Variants of net are sorted on the base of indicators of investment projects.