

**МЕТОДИКА ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ПОБУДОВИ  
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ ДОСТУПУ**

**МЕТОДИКА ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ПОСТРОЕНИЮ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ ДОСТУПА**

**METHOD TO CHOOSING TECHNICAL SOLUTIONS OF ACCESS  
NETWORKS CONSTRUCTION**

**Анотація.** Показано низьку ефективність сучасних методів вибору технологічних рішень побудови телекомунікаційних мереж доступу, що базуються виключно на суб'єктивній оцінці проектувальника. Запропоновано параметричну модель, що дозволяє систематизувати відомості про будь-який населений пункт з метою їх подальшого аналізу. Розроблено методику, що дозволяє формалізувати та (в перспективі) автоматизувати процес техніко-економічного оцінювання варіантів будівництва, а також отримати технічні та економічні показники по кожному з можливих варіантів будівництва.

**Аннотация.** Показана низкая эффективность современных методов выбора технологических решений построения телекоммуникационных сетей доступа, базирующихся исключительно на субъективной оценке проектировщика. Предложена параметрическая модель, позволяющая систематизировать данные про любой населенный пункт с целью их дальнейшего анализа. Разработана методика, которая позволяет формализовать и (в перспективе) автоматизировать процесс технико-экономического оценивания вариантов строительства, а также получить технические и экономические показатели по каждому из возможных вариантов строительства.

**Summary.** Low effectiveness of modern choosing methods of telecommunication access networks technological solutions, based solely on the subjective assessment of the designer. Proposed parametric model that allows organize data about any location for the purpose of further analysis. The method, which allows to formalize and (in the future ) to automate the process of feasibility assessment options for the construction, as well as obtain technical and economic indicators for each of the possible construction.

Стрімке зростання попиту на нові інфокомунікаційні послуги, а також збільшення обсягів інформаційного обміну в розрізі мереж усіх рівнів змушують операторів телекомунікацій здійснювати регулярне оновлення власних мереж абонентського доступу. Аналіз існуючих підходів до побудови сучасних мереж доступу дозволяє виділити значну кількість варіантів, які визначаються як технологіями (що, насамперед, залежать від середовища передавання), так і сценаріями, а також архітектурними та топологічними рішеннями, за якими можуть будуватися мережі.

Вибір конкретної архітектурної моделі будівництва мережі доступу є нетривіальним завданням та базується на аналізі технічних (надійність, складність будівництва та експлуатації, пропускна здатність окремих сегментів тощо) та економічних показників (обсяг капітальних та експлуатаційних витрат, бажаний період окупності інвестицій тощо). Однією з найбільш розповсюджених помилок проектувальників є спроба зробити такий вибір без проведення всебічного аналізу, базуючись лише на порівнянні поверхневих характеристик або на досвіді інших операторів.

За таких умов, вирішенням проблеми може стати лише розробка техніко-економічних обґрунтувань (або проведення техніко-економічних розрахунків) для кожного сегмента мережі доступу окремо. В цьому випадку вибір перспективного варіанта будівництва супроводжується послідовною оцінкою вартості побудови мережі доступу із застосуванням тих чи інших рішень виходячи з даних про абонентське середовище (дійсний й потенційну кількість абонентів), очікуване навантаження (попит на певні послуги), розміщення будівель, наявність задіяного комутаційного та лінійного обладнання і каналів зв'язку, використанні технології доступу, проектувану, змонтовану та задіяну ємність обладнання доступу тощо. Після порівняння економічних та технічних характеристик стає можливим обрання перспективного варіанта, який береться за основу подальшого деталізованого проектування та будівництва мережі. Зрозуміло, що розробка такого техніко-економічного обґрунтування потребує доволі значних часових та фінансових витрат та може вимагати залучення сторонніх організацій.

Вирішенням цієї проблеми може стати формалізація процесу визначення оптимального варіанта побудови мережі доступу, яка дозволить (в перспективі) автоматизувати процес техніко-економічного оцінювання.

*Метою статті є розробка методики вибору технологічних рішень побудови телекомунікаційних мереж доступу на основі імітаційного моделювання процесу їх будівництва.*

Очевидно, що ключовими факторами, що впливають на доцільність та спосіб будівництва сучасних мереж доступу в межах того чи іншого населеного пункту (НП), є його соціально-економічні та географічні параметри. На рис. 1 зображено параметричну модель типового населеного пункту, що включає характеристики, які в той чи інший спосіб впливають на вибір технології, архітектури та масштабу проєктованої мережі доступу.

Структурно всі параметри можна поділити на два рівні (рис. 1): рівень загальних параметрів та рівень параметрів адміністративних елементів (наприклад, міських районів).

Рівень загальних параметрів населеного пункту включає параметри, які характеризують населений пункт в цілому. При цьому за способом визначення параметри цього рівня можуть бути “централізовано визначеними” (тобто такими, що відносяться відразу до всіх адміністративних елементів на які поділяється населений пункт та визначаються як цілісні відомості про населений пункт із зовнішніх джерел інформації, що його характеризують), так і “обчислюваними” (такими, що можуть бути задані для кожного адміністративного елемента окремо та обчислені для всього НП (в межах відповідного класу) шляхом складання).

У свою чергу, рівень параметрів адміністративних елементів (АЕ) включає параметри, які характеризують лише окрему адміністративну одиницю населеного пункту (район міста, квартал тощо). Тип кожної з адміністративних одиниць визначається лише ступенем деталізації та не впливає на сприйняття та подальше використання моделі в цілому.

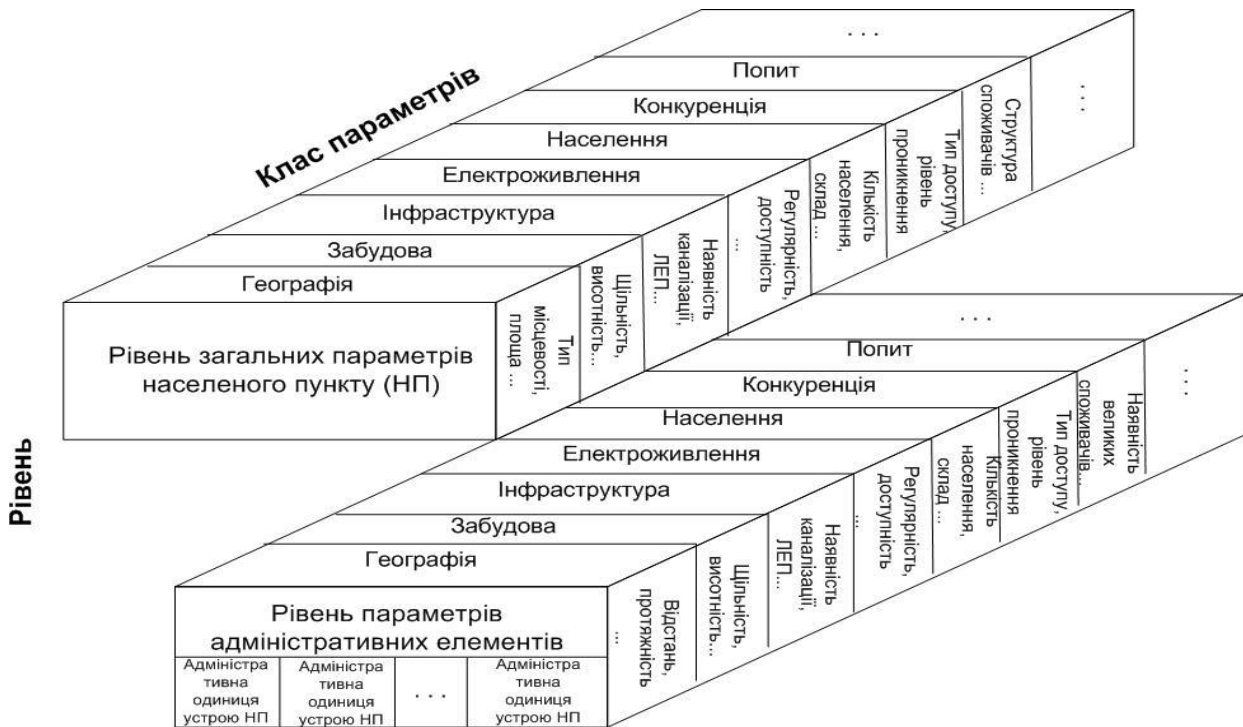


Рисунок 1 – Параметрична модель типового населеного пункту

Характерною ознакою параметрів обох рівнів є їх поділ на умовні та масштабоутворювальні. До умовних параметрів НП відносяться такі параметри, які однозначно можуть визначити можливість або неможливість застосування тієї чи іншої технології, або тієї чи іншої архітектури (в межах однієї технології) будівництва мереж доступу та можуть використовуватись для визначення загальної стратегії будівництва. У свою чергу, масштабоутворювальні параметри визначають лише кількісні (масштабні) показники будівництва мережі доступу в межах адміністративного елемента

або населеного пункту в цілому та можуть використовуватись для визначення економічних показників такого будівництва.

Як видно з рис. 1 параметри обох рівнів можна умовно поділити за групою класів, які визначають тип параметра та джерело інформації про нього.

Зокрема, до класу “Географія” можуть бути включені такі параметри, як тип місцевості, площа (загальна та забудови), відстань до вищого за адміністративною ланкою НП, тип місцевості (рівнина, гірська місцевість, пагорби тощо), форма НП тощо. На рівні параметрів адміністративних елементів той самий клас може бути представлено такими додатковими параметрами, як положення АЕ в населеному пункті (відстань між географічним центром АЕ та географічним центром НП в цілому), протяжність АЕ тощо.

До класу “Забудова” можуть включатися такі параметри, як щільність забудови та висотність, яка може бути представлена або в цілому, або в розрізі відсоткового співвідношення кількості будівель різної поверховості в межах кожного АЕ або НП в цілому. Також до цього класу можуть включатися параметри, які характеризують архітектурний стиль та тип будівель, що може впливати на спосіб будівництва мереж доступу.

До класу «Інфраструктура» можуть бути включені параметри міської інфраструктури, що можуть вплинути на спосіб будівництва мереж доступу. Зокрема, наявність або відсутність каналізації, або опор для прокладання (підвішування) кабельної інфраструктури можуть суттєво вплинути на вартість будівництва мереж доступу із використанням провідових технологій. Також до цього класу можуть включатися параметри, що визначають наявність та стан кабельних каналів у житлових будівлях, що можуть бути використані для будівництва розподільчого сегмента мережі доступу.

До класу «Електроживлення» можуть включатися параметри, що визначають доступність електроживлення для організації телекомунікаційних вузлів, які передбачають використання активного обладнання, його якість, що впливає на необхідність використання додаткових засобів захисту від стрибків напруги на вузлах доступу, а також регулярність, що певним чином впливає на можливість отримати телекомунікаційні послуги.

До класу «Населення» можуть бути включені параметри, що визначають кількість населення в межах кожного АЕ або НП в цілому, а також його вікову структуру. Слід зазначити, що параметри з класу «Населення» та «Географія» можуть бути використані для визначення густоти населення в тому чи іншому населеному пункті.

До класу «Конкуренція» можуть включатися параметри про наявне в населеному пункті (або конкретному АЕ) конкурентне середовище, тип доступу, що використовують конкуренти для підключення абонентів, а також рівень їх чинного проникнення, як до приватного сектора, так і до ділового.

До складу параметрів класу «Попит» можуть бути включені параметри, що визначають наявність великих споживачів (навчальних закладів, підприємств тощо) на території АЕ, а також інформація про соціальну структуру населення та, як наслідок, про його платоспроможність.

Слід зазначити, що наведена на рис. 1 класифікація є динамічною та може доповнюватись як іншими класами, так і додатковими параметрами.

Для вирішення поставленого завдання авторами було розроблено методику вибору технологічних рішень побудови телекомунікаційних мереж доступу, що базується на принципі імітаційного моделювання процесу будівництва мережі доступу за тією чи іншою технологією в умовах конкретного НП, а також з урахуванням відомостей про існуючу інфраструктуру та інших показників, що впливають на вибір оптимальної з економічної точки зору (серед припустимих з технічної точки зору) технології.

Визначення оптимальної з економічної точки зору технології ґрунтується на аналізі вартості та тривалості будівництва, порівнянні обсягів експлуатаційних витрат та оцінці обсягів потенційних надходжень від надання послуг за допомогою змодельованої телекомунікаційної інфраструктури.

Вихідними даними для роботи базового алгоритму методики (рис. 2) є параметри НП, параметри обраних для аналізу технологій доступу, параметри існуючої мережі, а також довідкові параметри, що визначають чинний стан телекомунікаційного ринку та економіки країни в цілому (через систему нормативних показників).

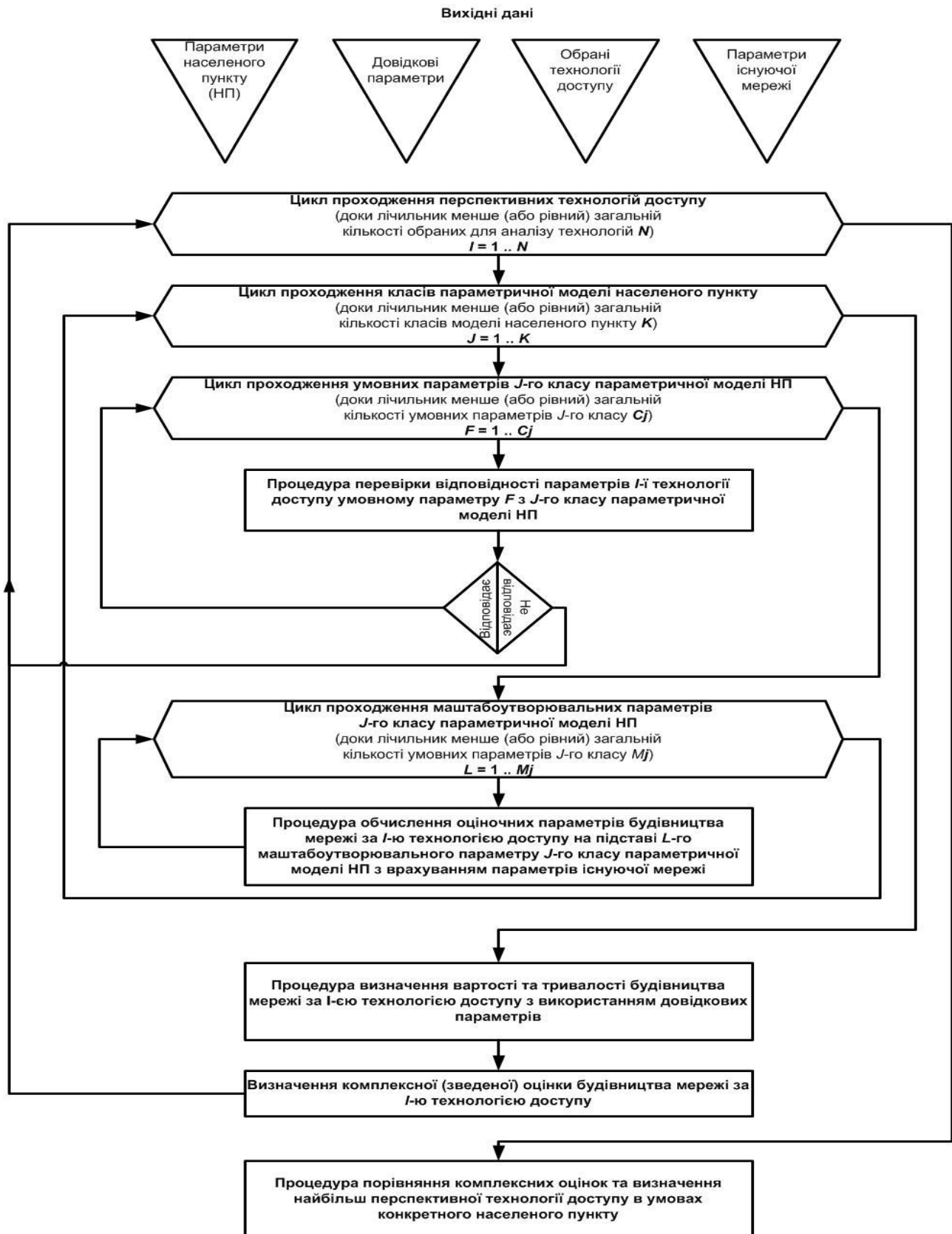


Рисунок 2 – Узагальнений алгоритм методики

Як і у випадку з параметрами НП (рис. 1) для опису технології доступу можна використати параметри двох типів: якісні та кількісні. При цьому, якщо якісні параметри визначають спосіб та можливість будівництва мережі, то кількісні параметри безпосередньо впливають на вартість та тривалість будівництва мережі.

Типовими прикладами якісних параметрів може бути тип середовища передавання (середовища, за допомогою якого здійснюється підключення абонентів до комутатора, мультиплексора, точки доступу, базової станції, а також активного та пасивного обладнання між собою тощо): безпроводовий зв'язок, використання мідних кабелів, а також використання волоконно-оптичних ліній зв'язку.

Так, наприклад, опис мережі доступу, що планується побудувати із використанням технології Wi-Fi при поєднанні точок доступу з комутаторами вузлового центру за допомогою мідних кабелів може бути здійснено із використанням двох якісних параметрів: використання безпроводового зв'язку для організації абонентських ліній та використання мідних кабелів для організації з'єднувальних ліній розподільчої мережі.

Ядром узагальненого алгоритму методики вибору технологічних рішень побудови телекомунікаційних мереж доступу (рис. 2) є циклічний перебір перспективних технологій, в межах якого шляхом послідовного аналізу показників параметрів населеного пункту виконується процедура перевірки відповідності параметрів тієї чи іншої технології доступу всім умовним параметрам моделі, а також процедури обчислення базових параметрів та визначення економічних показників будівництва мережі за кожною з оцінюваних технологій.

В основу процедури перевірки відповідності параметрів  $I$ -ї технології доступу умовному параметру  $F$  з  $J$ -го класу параметричної моделі НП (рис. 1) покладено принцип визначення сумісності параметрів параметричної моделі НП із параметрами параметричної моделі тієї чи іншої технології, яка здійснюється на основі числової оцінки значень спеціальної матриці сумісності параметрів (рис. 3).

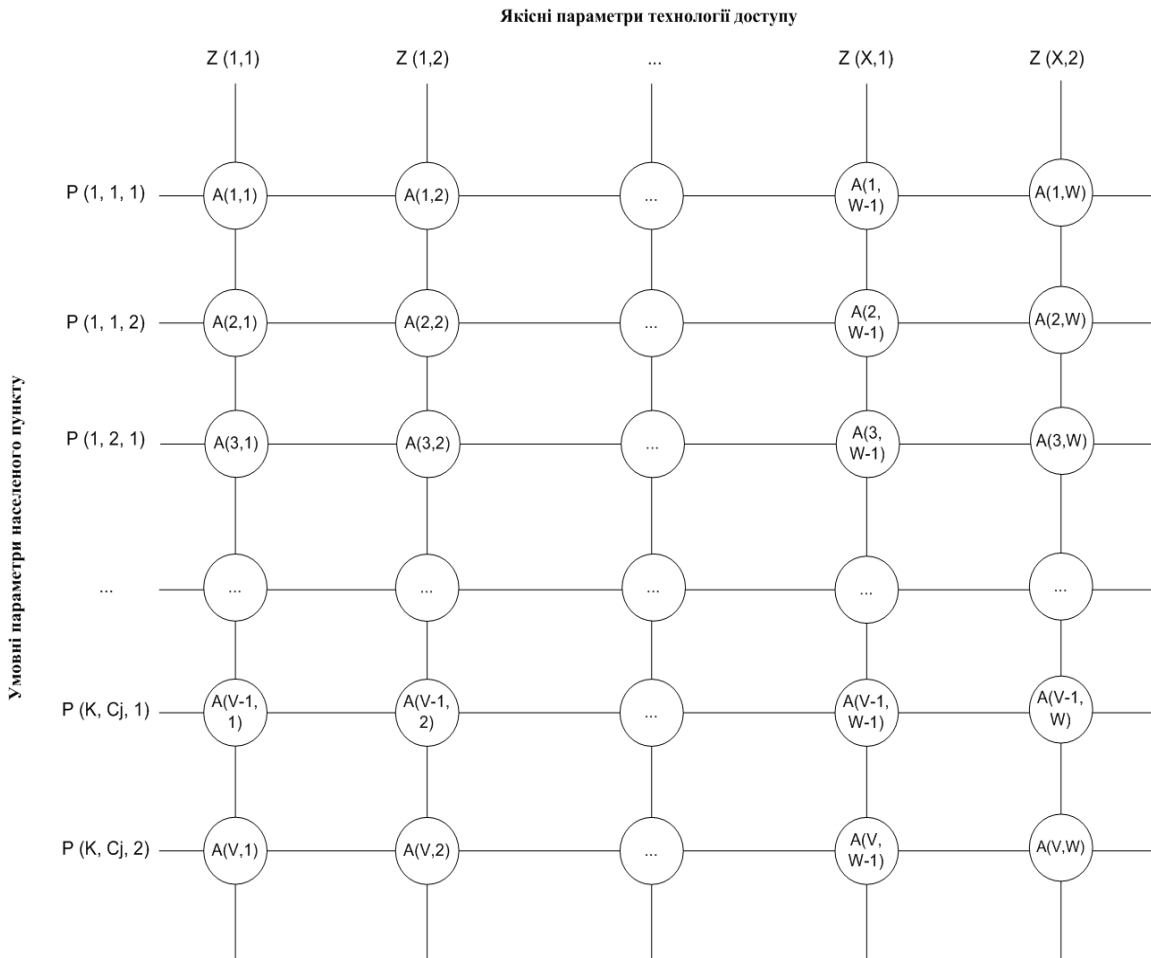


Рисунок 3 – Узагальнений вид матриці сумісності параметрів параметричних моделей

Матриця сумісності параметрів являє собою масив, в якому кількість рядків  $V$  визначається кількістю можливих варіантів значень умовних параметрів всієї сукупності класів параметричної моделі населеного пункту, а кількість стовпців  $W$  визначається кількістю можливих варіантів значень якісних параметрів параметричної моделі телекомунікаційної технології доступу.

Таким чином, кількість рядків матриці сумісності може бути визначено, як:

$$V = \sum_{J=1}^K \sum_{F=1}^{C_J} q_{JF}, \quad (1)$$

де  $K$  – кількість класів параметричної моделі населеного пункту;

$C_J$  – кількість умовних параметрів в межах  $J$ -го класу параметричної моделі НП;

$q_{JF}$  – кількість можливих значень  $F$ -го умовного параметра  $J$ -го класу параметричної моделі НП.

У свою чергу, кількість стовпців матриці сумісності може бути визначена, як:

$$W = \sum_{z=1}^X q_z, \quad (2)$$

де  $X$  – кількість якісних параметрів параметричної моделі технології доступу;

$q_z$  – кількість можливих значень  $z$ -го якісного параметра параметричної моделі технології доступу.

Числова оцінка сумісності (або не сумісності) значень двох параметрів різних моделей може бути визначена шляхом встановлення відповідного значення елемента масиву  $A$  (рис. 3), що відповідає комірці на перехресті значень цих параметрів в межах відповідної матриці. Так, значення «0» – відповідає відсутності впливу значення умовного параметра параметричної моделі населеного пункту на будівництво мережі у спосіб, визначений відповідним значенням якісного параметра технології доступу. У свою чергу, значення «0,5» або «1» визначає часткову або повну несумісність значень параметрів.

Відповідно до прийнятого в методиці підходу, неприйнятними до використання в тому чи іншому населеному пункті вважаються такі технологічні рішення, для яких сумарне значення сумісності відповідного якісного параметра з усіма значеннями параметрів моделі НП рівне або більше за «1».

Ключовою особливістю пропонованого підходу є те, що власник мережі або проектувальник самостійно може визначити непридатну для використання в тому чи іншому НП технологію доступу. Це стає можливим завдяки попередньому заповненню матриці сумісності ненульовими елементами на перехресті відповідних значень параметрів різних моделей.

Відповідно до результату виконання процедури перевірки відповідності параметрів тієї чи іншої технології доступу тому чи іншому умовному параметру моделі НП приймається рішення щодо доцільності подальшого аналізу відповідної технології. У разі, якщо хоча б один умовний показник параметричної моделі свідчить про неможливість (або очевидну недоцільність) будівництва мережі за певною технологією – процес моделювання переходить на наступну технологію.

Відповідно до алгоритму (рис. 2) наступним кроком є процедура визначення вартості та тривалості будівництва мережі за технологією, що пройшла перевірку на попередньому кроці. Процедура базується на імітаційному моделюванні процесу будівництва, який включає такі основні стадії: інсталяція та налаштування обладнання організації доступу (ООД) [1, 2]; інсталяція та налаштування технічного обладнання забезпечення доступу (ТОЗД) включно з організацією місць його розміщення; монтаж абонентських ліній, включаючи будівництво кабельних каналів (за необхідністю); будівництво каналів зв'язку розподільчого сегмента (між комутаційним вузлом, ТОЗД та ООД), включаючи будівництво кабельної каналізації (за необхідністю).

Зазначений вище процес імітаційного моделювання полягає в обчисленні низки кількісних показників (кількості одиниць обладнання та кількості місць його розміщення, кількості каналів зв'язку, їх типу та протяжності тощо). На підставі обчислених кількісних показників за допомогою відомостей про чинний стан ринку телекомунікаційного обладнання, а також відомостей про норми витрат часу на певні види робіт, визначається: вартість обладнання та матеріалів, необхідних для будівництва мережі доступу за тією чи іншою технологією; тривалість процесу інсталяції та налаштування активного обладнання; тривалість процесу облаштування місць розміщення активного обладнання; тривалість будівництва каналізації та каналів зв'язку; вартість проведення інсталяційних, монтажних, проектних та погоджувальних робіт (включно із вартістю ліцензування РЧР).

З метою формалізації зазначених вище залежностей розроблено низку субалгоритмів [3], що включають ключові позиції процесу імітаційного моделювання. Вихідними даними для роботи кожного з наступних (після першого) алгоритмів (крім параметрів відповідних параметричних моделей) є результати розрахунків, отримані на попередніх кроках роботи імітаційної моделі.

Результати роботи процедури визначення економічних показників будівництва мережі за кожною з оцінюваних технологій (представлені у вигляді зведеної комплексної оцінки) на останньому кроці загального алгоритму методики (рис. 2) використовуються для порівняння і визначення найбільш перспективної технології будівництва мережі доступу в умовах конкретного НП. В основу результуючої оцінки економічних показників будівництва покладено принцип порівняння обсягу капітальних витрат і сум та термінів повернення інвестованого капіталу на основі показника "чистого грошового потоку", який формується за рахунок чистого прибутку та заощадження вичерпних ресурсів під час експлуатації телекомунікаційної мережі. З цією метою використано метод приведеної вартості (чиста поточна вартість від англ. Net Present Value – NPV) [4, 5].

Слід зазначити, що обчислене значення NPV є остаточним значенням, що використовується для обрання найбільш перспективної технології будівництва мережі доступу в тому чи іншому НП. Очевидно, що найбільш перспективною буде вважатися технологія із найбільшим значенням NPV. При цьому доцільність будівництва взагалі може бути визначена шляхом порівняння отриманого значення із граничним значенням NPV, що визначає доцільність будівництва (в загальному випадку – 0 грн).

На завершення можна зробити такі висновки:

1. Розроблена методика дозволяє проектувальнику (або власнику мережі) не тільки прийняти вірне рішення щодо підходів до її будівництва, а й оцінити ключові технічні та економічні показники цього процесу.

2. Запропонований підхід дозволяє провести оцінювання відповідності тих чи інших перспективних технологій вимогам, що висуваються до мережі її власником, а також здійснити первинне оцінювання доцільності будівництва через визначення можливості застосування тієї чи іншої технології в тому чи іншому населеному пункті.

Подальші дослідження планується спрямувати на автоматизацію процесу розрахунку із використанням запропонованої методики, а також її апробацію на мережах операторів України.

### **Література**

1. *Сучасні телекомунікації: Мережі, технології, безпека, економіка, регулювання* / [Довгий С.О., Воробієнко П.П., Гуляєв К.Д. та ін.] – К.: «Азимут-Україна», 2013. – 608 с.
2. *Каптур В.А.* Оцінювання ефективності реорганізації транспортних мереж / [В.А. Каптур, Л.В. Кобринчук, Є.І. Петков, В.О. Самодід, Д.І. Сініна, Р.О. Юрчик] // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2009. – №1. – С.102 – 108.
3. *Розробка системних підходів* щодо розвитку телекомунікаційних мереж в населених пунктах з обґрунтуванням типових рішень та використанням мережі IP і цифрових комутаційних систем: звіт про НДР (заключ.): ОНАЗ ім. О.С. Попова; кер. В.А.Каптур; викон.: В.А.Каптур [та ін.]. – Одеса, 2013. – 121 с. – РК № 0112U005805.
4. *Виленский П.Л.* Оценка эффективности инвестиционных проектов. Теория и практика / Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А. – М.: Дело, 2008. – 1104 с.
5. *Каптур В.А.* Оцінювання ефективності впровадження телекомунікаційних технологій зменшення протокольної надлишковості / [В. А. Каптур, К. Д. Гуляєв, П. С. Кравченко, О. О. Яніна] // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – 2011. – № 52. – С. 77-89.