

УДК 621.396

**ІНЖЕНЕРНА ОЦІНКА ВПРОВАДЖЕННЯ
ЦИФРОВИХ ТРАНКІНГОВИХ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ**

ПРОЦЕНКО М.Б., БУХАН Д.Ю., РОЖНОВСЬКИЙ М.В.

Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова

**ENGINEERING ESTIMATION OF INTRODUCING
OF DIGITAL TRUNKED COMMUNICATION SYSTEMS**

PROTSENKO M.B., BUKHAN D.YU., ROZHNOVSKIY M.V.

Odessa National Academy of Telecommunications n. a. O.S. Popov

Анотація. Описана інженерна методика для оцінки впровадження цифрових систем транкінгового зв'язку. Методика дозволяє провести розрахунки кількості базових станцій і каналів трафіку, якщо відомі площа обслуговуваної території та кількість абонентів. Наведений приклад використання методики за допомогою графіків у вигляді номограми. Виявлені системні параметри, які вимагають поглибленого вивчення й аналізу.

Abstract. An engineering method for estimation of introducing of digital trunked communication systems is described. The method allows to calculate quantity of base stations and quantity of traffic channels if the service area and the subscribers quantity are known. The example of using of the method based on the graphs as nomogram is given. System parameters which require advanced studying and analyzing are defined.

Системи транкінгового зв'язку мають значні переваги при організації виробничо-технологічних процесів, розв'язання задач корпоративної безпеки, та призначені, в першу чергу, для абонентів, яким потрібний високий рівень оперативності [1, 2]. Проте їх широке впровадження на даний час стримується проблемою їх проектування, що включає коректне техніко-економічне обґрунтування, оптимальне частотно-територіальне планування, у тому числі і на інженерному рівні.

Попередній етап проектування систем транкінгового зв'язку можна характеризувати пошуком початкового наближення для розв'язання оптимізаційної задачі, а саме пошуку місць розміщення базових станцій, їх номінальних потужностей, ємностей, та ін. Основним результатом рішення даної задачі є компроміс між складністю системи та її ефективністю. При цьому під ефективністю такої системи зазвичай розуміється забезпечення необхідної якості зв'язку. Складність системи визначає сукупність витрат на розгортання мережі та її експлуатацію. В окремому випадку, складність системи транкінгового зв'язку визначається кількістю обладнання та необхідним частотним ресурсом. Природною вимогою до проектування будь-якої системи, зокрема, системи транкінгового зв'язку, є мінімізація витрат, а саме складності системи при забезпеченні заданої ефективності, тобто необхідної якості зв'язку.

Процедура розв'язання такої оптимізаційної задачі часто називається частотно-територіальним плануванням системи транкінгового зв'язку. На даний час відома значна кількість програмних засобів для частотно-територіального планування систем і мереж зв'язку з рухомими об'єктами [3]. Як правило, ці програмні засоби дозволяють вирішувати вузькоспеціалізовані задачі, які актуальні на кінцевому етапі проектування, але малоприсадибні для інженерного аналізу, обґрунтованого вибору тієї або іншої системи транкінгового зв'язку. Тому метою даної роботи є розробка методики інженерної оцінки кількості необхідного устаткування та частотного ресурсу при організації транкінгового зв'язку; виявлення системних параметрів і характеристик, що вимагають поглибленого вивчення й аналізу.

Оцінити кількість обладнання, що необхідне для розгортання мережі транкінгового зв'язку, можливо у випадку, коли можна оцінити радіуси зон обслуговування базових станцій, або дальність зв'язку. Під дальністю зв'язку звичайно розуміють максимальну відстань між двома радіостанціями, на якій забезпечується стійкий зв'язок з необхідною якістю. При цьому стійким зв'язком вважається тоді, коли відношення здійснених сеансів зв'язку до загальної кількості спроб виходу на зв'язок перевищує задану величину. Під необхідною якістю розуміють якість приймання мовного сигналу, за якого зберігається задана розбірливість.

Дальність зв'язку залежить від значної кількості параметрів, які можна розділити на три основні групи:

- параметри, що визначаються умовами використання засобів радіозв'язку (висота встановлення антени базової станції, рельєф місцевості, завадові обставини та ін.);
- параметри, що визначаються технічними характеристиками апаратури радіозв'язку (потужність передавачів, чутливість приймального тракту, коефіцієнт підсилення антени та ін.);
- параметрами, що безпосередньо закладені в стандарт транкінгового зв'язку (метод розділення каналів, спосіб модуляції радіосигналів, метод завадостійкого кодування та ін.).

На даний час відомі та широко використовуються різні системи цифрового транкінгового зв'язку, наприклад, TETRA, MOTOTRBO Connect Plus (стандарт ETSI DMR), APCO 25, TETRAPOL, NEXEDGE (стандарт NXDN) та ін. [4 – 8]. Основною відмінною ознакою систем цифрового транкінгового зв'язку, що суттєво впливає на дальність зв'язку, є використовуваний метод розділення каналів. У наведених системах використовуються: метод частотного розділення каналів, позначений в англійській літературі аббревіатурою FDMA (Frequency Division Multiple Access) і метод часового розділення каналів, відповідно позначений TDMA (Time Division Multiple Access).

Транкінгові системи, в яких застосований FDMA (APCO 25, NEXEDGE, TETRAPOL), забезпечують більшу дальність зв'язку (при інших однакових параметрах) порівняно з транкінговими системами з TDMA (TETRA, MOTOTRBO). Це пояснюється меншою енергією сигналу на один біт інформації. Відомо [9], що енергія сигналу визначається як добуток потужності сигналу на його тривалість. Зрозуміло, що при зменшенні тривалості сигналу (часу передавання одного інформаційного біта для цифрової системи) пропорційно зменшується енергія. Наприклад, для транкінгової системи TETRA, з чотирма інформаційними каналами (каналами трафіка) в одному частотному каналі, еквівалентна потужність на біт інформації в 4 рази менша, ніж в транкінгових системах з FDMA, що рівносильне зниженню дальності зв'язку орієнтовно на 40 % [10].

Суттєвим фактором, що також впливає на зниження дальності зв'язку в транкінгових системах з TDMA порівняно з транкінговими системами, в яких застосовано FDMA, є стійкість каналу зв'язку при багатопроменевому розповсюдженні сигналу, що виникає в умовах щільної міської забудови або гористої місцевості завдяки відбиттю сигналу від будівель та інших перешкод. Відбитий сигнал завдає тим більшого впливу, чим більше відношення його тривалості до тривалості сигналу. Тому зменшення тривалості інформаційного біта в транкінгових системах з TDMA погіршує якість приймання в умовах багатопроменевості [11]. Принципово можна досягти повної компенсації затримки сигналу, проте це потребує застосування різних типів приймачів для різних умов розповсюдження сигналу.

У багатьох джерелах наводяться дані щодо приблизно двократного зниження дальності зв'язку в системах з TDMA у порівнянні з системами з частотним розділенням каналів (FDMA). Наприклад, за офіційними даними Міжнародного союзу електров'язку (див., наприклад, [12]), радіус дії базової станції системи TETRA до портативної радіостанції складає 3,8 км в міських умовах та 17,5 км в умовах сільської місцевості. Зона дії в цих умовах базових станцій системи APCO 25 з FDMA у 2 рази більша (7,6 та 35 км відповідно).

Наведені значення максимальної дальності систем транкінгового зв'язку з різними методами розділення каналів є усередненими і можуть бути використані тільки для оціночних розрахунків (початкове наближення для розв'язання оптимізаційної задачі територіального планування). Кількість необхідного обладнання для розгортання мережі транкінгового зв'язку приблизно можна оцінити виходячи з кількості базових станцій, яка, у свою чергу, визначається кількістю комірок, необхідних для радіопокриття заданої території.

Не враховуючи на даному етапі форму обслуговуваної території, рельєф і особливості місцевості, кількість базових станцій (кількість комірок) $N_{\text{БС}}$ можна визначити згідно з виразом

$$N_{\text{БС}} = \text{ceil}(S_{\text{заг}}/S_{\text{ком}}), \quad (1)$$

де $S_{\text{заг}}$ – загальна площа обслуговуваної території; $S_{\text{ком}}$ – площа комірки; $\text{ceil}(\)$ – функція, що округляє отриманий результат до більшого цілого.

Площу комірки $S_{\text{ком}}$ з урахуванням її шестикутної форми можна обчислити з виразу [13]

$$S_{\text{ком}} = \frac{3\sqrt{3}}{2} R_{\text{ком}}^2, \quad (2)$$

де $R_{\text{ком}}$ – радіус дії базової станції (максимальна дальність зв'язку).

Аналіз (1) з урахуванням (2) показав, що зменшення радіуса дії базової станції (наприклад, у два рази) збільшує необхідну кількість базових станцій (у чотири рази).

Загальні витрати на розгортання мережі транкінгового зв'язку визначаються не тільки кількістю базових станцій, але і необхідним частотним ресурсом (кількістю частотних каналів, точніше кількістю каналів трафіка). У свою чергу, необхідна кількість каналів трафіка залежить від запланованої кількості абонентів. Зрозуміло, що більша кількість абонентів в межах обслуговуваної комірки вимагає збільшення кількості каналів трафіка, що виділяються базовій станції.

При обмеженому частотному ресурсі необхідно зменшувати навантаження на базову станцію, що досягається зменшенням радіуса дії базової станції та приводить до збільшення кількості комірок у межах обслуговуваної території.

Визначити кількість базових станцій N_{BC} з урахуванням обмеженого навантаження на одну базову станцію можна згідно з виразом

$$N_{BC} = \text{ceil}(A_{\text{заг}}/A_{\text{ком}}), \quad (3)$$

де $A_{\text{заг}}$ – загальне навантаження на всю мережу транкінгового зв'язку; $A_{\text{ком}}$ – максимальне навантаження на одну базову станцію.

Загальне навантаження $A_{\text{заг}}$ визначається згідно з виразом

$$A_{\text{заг}} = \beta N_{AB}, \quad (4)$$

де β – усереднене навантаження, що створюється одним абонентом; N_{AB} – запланована кількість абонентів в усій мережі транкінгового зв'язку.

Максимальне навантаження на одну базову станцію залежить від алгоритму її функціонування, який описується відповідною моделлю телетрафіка: з блокуванням виклику (надходження виклику, коли всі канали зайняті, призводить до відмови в обслуговуванні); з утриманням виклику (постановкою виклику в чергу). Модель телетрафіка, у свою чергу, визначає відповідну ймовірність події та, стосовно до систем транкінгового зв'язку, залежить від максимального навантаження на базову станцію та кількості каналів трафіка. Для оціночних розрахунків можна використовувати модель телетрафіка з блокуванням виклику, що описується формулою Ерланга, так звану Ерланг В [3]

$$P = \left(\frac{A_{\text{ком}}^{N_T}}{N_T!} \right) \left(\sum_{i=0}^{N_T} \frac{A_{\text{ком}}^i}{i!} \right)^{-1}, \quad (5)$$

де P – ймовірність блокування виклику; $A_{\text{ком}}$ – максимальне навантаження на одну базову станцію; N_T – кількість каналів трафіка.

Функція (5) табульована, її значення наведено у багатьох довідниках (див., наприклад, [13]). Зазвичай задається допустима ймовірність блокування виклику $P_{\%}$ та кількість каналів трафіка N_T , при цьому невідомою величиною є максимальне навантаження на одну базову станцію $A_{\text{ком}}$, яке визначається згідно з (5).

Для знаходження максимального навантаження на одну базову станцію $A_{\text{ком}}$ можна скористатися алгоритмічним способом рішення (5) згідно з виразом

$$A_{\text{ком}} = \text{root}(P(A_{\text{ком}}, N_T) - P_{\%}), \quad (6)$$

де $P(A_{\text{ком}}, N_T)$ – вираз (5); $P_{\%}$ – допустима ймовірність блокування виклику; $\text{root}(\)$ – функція, що дозволяє обчислити корінь рівняння $P(A_{\text{ком}}, N_T) - P_{\%} = 0$.

Аналіз (3) з урахуванням (4) і (5) показав, що кількість базових станцій лінійно змінюється в залежності від кількості абонентів.

На підставі (3) і (5) проведені розрахунки кількості обладнання (кількості базових станцій системи транкінгового зв'язку) залежно від радіуса дії базової станції та кількості абонентів. Як приклад, розглянута територія м. Києва (площа обслуговуваної території $S_{\text{заг}} = 836$ кв. км [14]).

Чисельні значення усередненого навантаження β , що створюється одним абонентом, і допустима ймовірність блокування виклику $P_{\%}$ вибрані з наступних оцінок. Для сучасних стільникових систем зв'язку загального користування усереднене навантаження β , що створюється одним абонентом, дорівнює $\beta = 0,02$ Ерл [13]. Транкінгові системи відповідно до специфіки свого призначення та використання зазвичай працюють з більшим навантаженням, що створюється одним абонентом, яке

заздалегідь можна збільшити на порядок, тобто для наближених розрахунків можна прийняти $\beta = 0,2$ Ерл. Типове значення допустимої ймовірності блокування виклику в проводових телефонних мережах загального користування задається рівним $P_{\%} = 0,1 \dots 0,3 \%$, в мережах стільникового зв'язку, відповідно $P_{\%} = 1 \dots 5 \%$ [13]. Зважаючи на призначення та використання системи транкінгового зв'язку, допустиму ймовірність блокування виклику слід вибирати якомога меншу, наприклад, $P_{\%} = 0,5 \%$. Надалі, для уточнення даних значень необхідно розробляти спеціальний сценарій функціонування системи транкінгового зв'язку стосовно до тієї або іншої служби, виробничо-технологічного процесу.

Результати розрахунків зображені на рис. 1 у вигляді відповідних залежностей.

Квадратична залежність визначає необхідну кількість базових станцій N_{BC} для розгортання мережі транкінгового зв'язку на заданій території від їх радіуса дії $R_{ком}$ (нижня горизонтальна шкала). Три лінійні залежності визначають необхідну кількість базових станцій N_{BC} від кількості абонентів N_{AB} (верхня горизонтальна шкала) та кількості каналів трафіка N_T на кожній базовій станції, в даному випадку $N_T = 7, 15$ і 39 .

Наведеними на рис. 1 залежностями можна користуватися як номограмою. Приклад такого використання і послідовність дій відмічені на рис. 1 пунктирною та штрих-пунктирною лініями.

Зокрема, для системи транкінгового зв'язку з TDMA при використанні її в умовах міста усереднене значення радіуса дії базової станції дорівнює $R_{ком} = 3,8$ км. Для покриття заданої території необхідно 24 базових станції (див. пунктир). При організації на кожній базовій станції 7 або 15 каналів трафіка кількість абонентів із заданою якістю, відповідно дорівнює $N_{AB} = 250$ або 870 (див. пунктир). Для аналогічних умов, але при використанні системи транкінгового зв'язку з FDMA (усереднене значення радіуса дії базової станції дорівнює $R_{ком} = 7,6$ км) необхідно 7 базових станцій (див. штрих-пунктир), які можуть обслуговувати 250 або 870 абонентів із заданою якістю при організації кожною базовою станцією відповідно 15 або 39 каналів трафіка (див. штрих-пунктир).

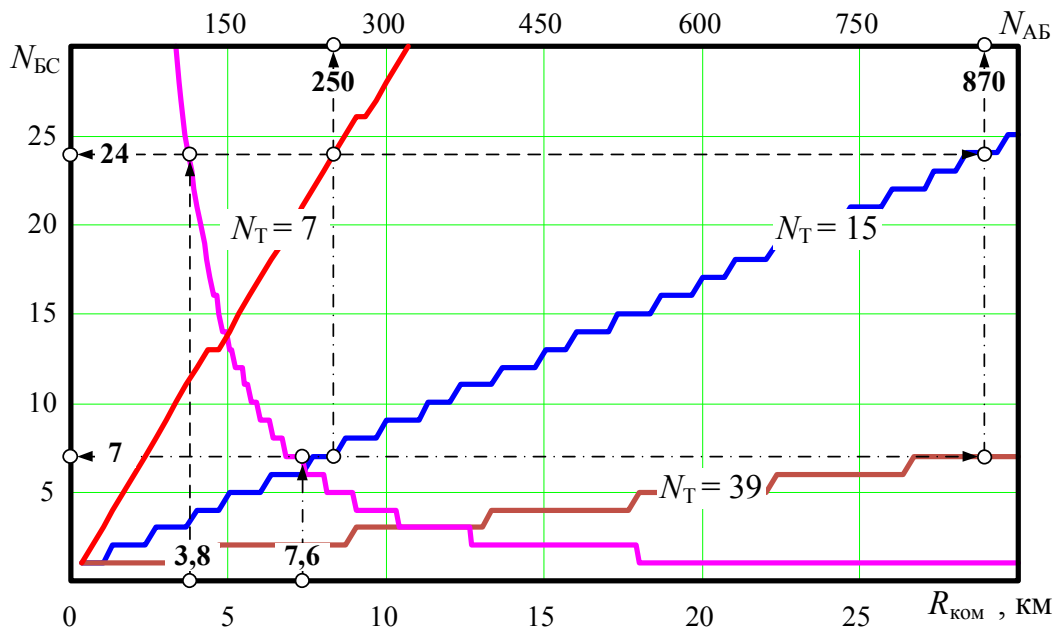


Рисунок 1 – Залежності кількості базових станцій від радіуса комірки, кількості абонентів та каналів трафіка

Згідно з наведеним прикладом можна стверджувати, що системи транкінгового зв'язку з FDMA ефективніші при малій кількості абонентів і, навпаки, ефективність системи транкінгового зв'язку з TDMA зростає при великій кількості абонентів.

Таким чином, представлена в роботі методика інженерної оцінки впровадження цифрових систем транкінгового зв'язку дозволяє розрахувати кількість необхідного обладнання (кількість базових

станцій) та частотного ресурсу (кількість частотних каналів або кількість каналів трафіку) при заданих загальній площі обслуговуваної території та кількості запланованих абонентів. Проте при всій наочності та простоті використання даної методики, отримані на її основі результати є тільки оціночними. До основних наближень в розрахунках слід віднести:

- не враховується локальний характер традиційного використання сучасних систем цифрового транкінгового зв'язку;
- усереднені значення радіуса дії базової станції;
- усереднене та завищене значення навантаження, що створюється одним абонентом;
- використовуваний алгоритм функціонування системи транкінгового зв'язку, а саме алгоритм, який заснований на моделі телетрафіка (Ерланг В).

Для уточнення та розвитку наведеної методики необхідно розробити:

- ефективний алгоритм розрахунку радіуса дії базової станції з урахуванням характеристик спрямованості використовуваних антен для забезпечення локального охоплення заданої території, рельєфу місцевості та забудови на заданій території;
- сценарій функціонування системи транкінгового зв'язку стосовно до заданого виробничо-технологічного процесу, роботи тієї або іншої служби, що і є одними з основних напрямів подальших досліджень в даній області.

ЛІТЕРАТУРА

- 1 Соколов А.В. Альтернатива сотовой связи: транкинговые системы / А.В. Соколов, В.И. Андрианов. – СПб.: БХВ-Петербург, Арлит, 2002. – 448 с.
- 2 Овчинников А.М. Открытые стандарты цифровой транкинговой радиосвязи / А.М. Овчинников, С.В. Воробьев, С.И. Сергеев. – М.: Связь и бизнес, 2000. – 166 с.
- 3 Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование: Учебное пособие для вузов / В.Ю. Бабков, М.А. Вознюк, П.А. Михайлов. – [2-е изд., испр.] – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. — 224 с.
- 4 TETRA [Электронный ресурс]. –Режим доступа к информации: http://www.sagatelecom.ru/encyclopedia/protocol/detail.php?SECTION_ID=28&ID=90;
<http://www.viol.uz/systems/trunk/page7.shtml>.
- 5 MOTOTRBO Системный планировщик. Издание 1.0. – Motorola [Электронный ресурс]. – Режим доступа к информации: http://files.radioscanner.ru/files/download/file9390/systemplanner_issue1_0_rus.pdf.
- 6 APCO Project 25: New Technology Standards Project. Digital Radio Technical Standards. Statement Of Requirements. November 10, 1999 [Электронный ресурс]. – Режим доступа к информации: <http://www.viol.uz/systems/trunk/page8.shtml>;
http://www.sagatelecom.ru/encyclopedia/protocol/detail.php?SECTION_ID=28&ID=90.
- 7 TETRAPOL [Электронный ресурс]. – Режим доступа к информации: <http://www.viol.uz/systems/trunk/page6.shtml>;
http://www.sagatelecom.ru/encyclopedia/protocol/detail.php?SECTION_ID=28&ID=90
- 8 NEXEDGE [Электронный ресурс]. –Режим доступа к информации: <http://nexedge.kenwood.com/products.html>. –
- 9 Склад Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Склад ; 2-е изд. ; пер с англ. – М. : Изд. дом “Вильямс”, 2003. – 1104 с.
- 10 Овчинников А.М. Сравнительный анализ стандартов цифровой транкинговой связи / А.М. Овчинников // Специальная техника. – 2000. – № 3.
- 11 Воробьев С.В. Стандарты TETRA и APCO 25: оценка зон обслуживания / С.В. Воробьев, А.М. Овчинников (Компания Saga Telecom) [Электронный ресурс]. – Режим доступа к информации: <http://www.radioscanner.ru/info/article131>.
- 12 Project 25/TETRA Comparison / Radio Resource International. – 2000. – № 1.
- 13 Сукачев Э.А. Сотовые сети радиосвязи с подвижными объектами: Учебн. пособие. –2-е Изд., испр. и дополн. – Одесса: УГАС, 2000. – 119 с.
- 14 Облікова картка м. Київ (на сайті Верховної Ради України) [Електронний ресурс]. – Режим доступу до інформації: <http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/z7502/A005?rdat1=20.04.2011&rf7571=41607>.