

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

СЕНЬКОВ ОЛЕГ ВІКТОРОВИЧ

УДК 621.391.1

**МЕТОДИКА ВЗАЄМОДІЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ В УМОВАХ
НЕВИЗНАЧЕНОСТІ НА БАЗІ ТЕОРІЇ УПРАВЛІННЯ**

Спеціальність 05.12.02 - Телекомунікаційні системи та мережі

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ-2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Державному університеті телекомунікацій Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант -

доктор технічних наук, професор,
Бондарчук Андрій Петрович,
Державний університет телекомунікацій
Міністерства освіти і науки України, директор
навчально-наукового інституту інформаційних
технологій.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор,
Коваль Валерій Вікторович,
Національний університет біоресурсів і
природокористування України Міністерства освіти
і науки України, професор кафедри автоматики та
робототехнічних систем ім. академіка
І.І. Мартиненка;

кандидат технічних наук,
Полоневич Андрій Петрович,
Приватне акціонерне товариство «Київстар»,
інженер інформаційно-телекомунікаційних
систем відділу контролю та підтримки
фіксованих сервісів департаменту управління
мережами та сервісами.

Захист дисертації відбудеться «19» березня 2021 р. о 14.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.861.01 Державного університету телекомунікацій за адресою: 03110, м. Київ, вул. Солом'янська, 7.

З дисертацією можна ознайомитися у науково-технічній бібліотеці Державного університету телекомунікацій за адресою: 03110, м. Київ, вул. Солом'янська, 7.

Автореферат розісланий «18» лютого 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук

Л.В. Дакова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми.

Сучасні телекомунікаційні мережі швидко розвиваються, однак, на поточний момент існує ще безліч аспектів, які потребують вирішення та стандартизації з метою задоволення вимог операторів зв'язку. Передбачається, що нові мережі забезпечуватимуть більш високу швидкість та якість телекомунікаційних послуг з урахуванням зростаючих потреб клієнтів. Різноманітні та різнотипні мережі вимагають ефективності та гнучкості процесів їх побудови та управління, що узгоджується з концепціями синергії, які ґрунтуються на спільному використанні фізичних ресурсів різними операторами, службами та додатками. Підтримка існуючих функціональних можливостей мереж та їх розширення потребує розробки нових парадигм для основних частин мережної архітектури та гнучких систем доступу, які при цьому забезпечують необхідні показники надійності. Технології взаємодії різнотипних мереж мають поєднувати існуючі мережі і оптимізувати способи передачі даних між системами незалежно від особливостей підключення, використаних пристроїв або мережі. Це особливо важливо для операторів зв'язку, оскільки оптимізація способів передачі і прийому даних дозволяє створити нові значні переваги для клієнтів.

Надскладна інфраструктура сучасних телекомунікаційних мереж потребує нових методів дослідження для забезпечення її розвитку та надійного обслуговування. Для цього необхідно розвивати загальну теорію оптимальних методів обробки та передачі інформації, розробляти нові принципи побудови систем автоматичного управління, методи побудови інформаційних мереж, систем, що мають здатність до самонавчання та самоорганізації.

Вагомий внесок у вирішення завдань забезпечення ефективного функціонування телекомунікаційних мереж, створення методів їх побудови, експлуатації та управління внесли багато вітчизняних та закордонних вчених, таких як Афанасьєв В.В., Бертсекас Д., Гостєв В.І., Нейман В.І., Івахненко Г.І., Зайцев Г.Ф., Окунєв Ю.Б., Стеклов В.К., Якубайтіс Е.А., Фінк Л.М., Шеннон К. та інші. Проте, в їх роботах недостатньо уваги приділено розвитку методів взаємодії телекомунікаційних мереж в умовах невизначеності. Тому на сьогодні існує явне **протиріччя** між необхідністю розвитку інфраструктури телекомунікаційних мереж та відсутністю науково-методичного апарату взаємодії телекомунікаційних мереж в умовах невизначеності.

Тому, на сучасному етапі розвитку науки і техніки важливим напрямком є розробка моделей, методів управління як сегментами мережі, так і взаємодією різних телекомунікаційних мереж для рішення технічних завдань.

Таким чином, на сьогодні актуальним є вирішення **науково–прикладної задачі** розробки науково-методичного апарату для взаємодії телекомунікаційних мереж різного типу, які можуть доповнювати один одного в умовах невизначеності на основі теорії управління.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Зміст роботи, її основні завдання відповідають державним науково-технічним програмам, які були сформульовані в Законі України «Про наукову і науково-

технічну діяльність». Напрямок дослідження роботи пов'язаний з виконанням науково-дослідних робіт, в яких автор приймав участь. Дисертаційна робота виконана у Державному університеті телекомунікацій в науково-дослідних роботах: «Методика підвищення ефективності систем управління на основі векторного синтезу» № 0118U0004552, «Управління системами з складною динамікою в інфокомунікаціях» № 0115U002977.

Мета і задачі досліджень. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності процесу управління об'єктами різномірних телекомунікаційних мереж на базі теорії управління.

Для досягнення поставленої мети і вирішення зазначеної проблеми необхідно розв'язати наступні завдання:

1. Провести аналіз основних завдань, щодо ефективної взаємодії різномірних мереж.

2. Визначити напрямки вирішення проблеми оптимізації параметрів телекомунікаційних мереж на основі технології взаємодії.

3. Проаналізувати можливості використання інтелектуальних технологій для автоматичного вирішення конфліктних ситуацій.

4. Дослідити наукові інструменти моделювання взаємодії телекомунікаційних систем з ієрархічною топологією.

5. Розробити модель взаємодії двох рівноправних мереж в умовах невизначеності.

6. Розробка методики аналітичної імовірності оцінки якості функціонування перспективних телекомунікаційних систем.

7. Апробувати розроблені методи, моделі та алгоритми для підтвердження ефективності.

Об'єкт дослідження – процес взаємодії телекомунікаційних мереж в умовах невизначеності.

Предмет дослідження – моделі і методи взаємодії телекомунікаційних мереж в умовах невизначеності на базі теорії управління.

Методи досліджень. У дисертаційній роботі нові наукові результати й висновки отримано на основі математичного аналізу та синтезу складних нелінійних систем. Використано сучасні методи теорії систем і теорії зв'язку, методи теорії інформації, теорії стійкості, теорії ігор, методи оптимального управління, розпізнання, метод імовірнісної скаляризації, імітаційного моделювання та методи перевірки результатів дослідження для підтвердження основних положень теоретичних досліджень.

Наукова новизна роботи. У процесі теоретичних досліджень і моделювання у дисертаційній роботі отримано наступні нові наукові результати, а саме:

1. Удосконалено методику управління об'єктами телекомунікаційної мережі, що на відміну від існуючих підвищує ефективність їх функціонування.

2. Розроблено алгоритм максимальної переваги в роботі базової станції телекомунікаційної мережі в процесі взаємодії з іншими мережами.

3. Розроблено моделі взаємодії телекомунікаційних мереж та систем в умовах неповної інформації про параметри системи.

4. Вперше розроблено методику оцінки якості функціонування перспективних телекомунікаційних систем, наукова новизна якої полягає в тому, що вона ґрунтується на методі імовірнісної скаляризації та за рахунок апарату умовних імовірностей дозволяє врахувати особливості функціонування телекомунікаційних систем на фізичному, каналному і мережевому рівнях еталонної моделі взаємодії відкритих систем (EMVCS).

Практичне значення одержаних результатів.

1. Алгоритм максимальної переваги в роботі базової станції телекомунікаційної мережі дозволяє підібрати оптимальні параметри для кожної базової станції телекомунікаційної мережі враховуючи її місце знаходження, що дозволяє зменшити вплив сусідніх станцій на 17%.

2. Модель взаємодії різнорідних систем радіодоступу, яка дозволяє збільшити пропускну здатність телекомунікаційної мережі, спрощує процедуру роумінгу та спільне управління абонентськими пристроями декількома операторами зв'язку.

3. Методика дозволяє врахувати особливості проектно-технічного рівня, що реалізуються на каналному і мережевому рівнях телекомунікаційних систем, що дозволить значною мірою знизити ступінь суб'єктивності експертних оцінок і спростити процедуру прийняття експертного рішення щодо якості проектних варіантів побудови телекомунікаційних систем.

Теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи реалізовані в рамках виконання науково-дослідних роботах, а також використовуються в навчальному процесі Державного університету телекомунікацій. Результати роботи впроваджені в практичну діяльність Науково-технічного центру Енергозв'язок, провайдера ширококутового доступу компанії «Vega», інтегратора мережевого обладнання «АЙ ТІ ДЖИ», що підтверджуються відповідними актами, наведеними в додатку до дисертаційної роботи.

Особистий внесок здобувача. Нові наукові положення та результати дисертації одержані особисто здобувачем. У дисертації не використовувалися ідеї та розробки, що належать співавторам, з якими опубліковано наукові праці. Усі наукові результати, що подаються до захисту одержано особисто автором.

В роботах, що написані в співавторстві, особистий внесок здобувачу належить: [1] проведення порівняльного аналізу підходів до побудови білінгових систем; [2] запропоновано нові моделі інформаційних технологій; [3] розробка рекомендацій по організації систем передачі інформації та їх взаємодії; [4] визначення архітектури персональних інформаційної мережі; [5] розробка систем управління прикладними задачами IoT; [6] запропоновано модель взаємодії різних сегментів телекомунікаційної мережі.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертації, практичні висновки і рекомендації, які одержано під час роботи, апробовано та оприлюднено в ході: XI науково-технічної конференції «Сучасні інфокомунікаційні технології» (11 грудня 2020 року), науково - практичній конференції «Telecommunication: problems and innovation» (м. Київ, ДУТ, 10 грудня 2020 року), науково-практичній конференції «Проблеми комп'ютерної інженерії» (м. Київ, ДУТ, 2 грудня 2020 року), всеукраїнській науково-технічній конференції

«Сучасний стан та перспективи розвитку IoT» (м. Київ, ДУТ, 3 квітня 2020 року), VIII науково-технічній конференції «Сучасні інфокомунікаційні технології» (м. Київ, ДУТ, 25 травня 2019 року), восьмої міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми інформатизації» (11 – 12 квітня 2017 року). Крім того основні положення і результати дисертації, практичні висновки і рекомендації апробовано на міжкафедральному семінарі ННІТ Державного університету телекомунікацій.

Публікації. Основні результати дисертаційного дослідження опубліковані в 14 наукових працях. Всього опубліковано в наукових фахових виданнях 7 статей (з них 1 одноосібно). Представлено 7 тез доповідей на наукових та науково-технічних конференціях, з них 2 міжнародних. В рамках досліджень опубліковано два навчальні посібники.

Обсяг і структура дисертації. Зміст дисертації викладено на 189 сторінках, ілюстровано 21 рисунками та 9 таблицями. Матеріали дисертації складаються зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 117 найменувань, 2 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** наведено загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність теми досліджень, сформульовано мету та задачі досліджень, визначено об'єкт, предмет, розкрито зв'язок роботи з науковими планами та програмами, сформульовано наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, відзначено особистий внесок автора, наведено дані про апробацію, практичне впровадження, публікації та структуру роботи.

У **першому розділі** на основі опрацьованих науково-технічних джерел визначено основні тематичні завдання, які необхідні для розробки методики взаємодії телекомунікаційних мереж в умовах невизначеності на базі теорії управління.

Сформульовано визначення сучасної телекомунікаційної мережі, яка наділена інтелектуальними властивостями.

Прототипом такої мереж є гетерогенні мережі, а також мережі з підтримкою машинного навчання. Основним підґрунтям для таких мереж виступають технології, що забезпечують конвергенцію мережних функцій та автоматизують роботу з побудови, управління та вирішення питань стійкості в процесі експлуатації.

Одним з ключових напрямків розвитку телекомунікаційних мереж є впровадження когнітивних технологій. Призначення технологій наділених інтелектом є забезпечення безперебійної роботи інформаційних мереж та оптимізація ресурсів при наданні усього спектру сучасних телекомунікаційних послуг.

Проаналізовано шляхи розвитку технологій взаємодії телекомунікаційних мереж, що базуються на програмній зміні топології і оптимізації радіодоступу,

технологіях по забезпеченню віддаленої обробки та зберігання даних. Визначено основні переваги технологій, що дозволяють вирішити проблеми взаємодії телекомунікаційних мереж.

Визначено перспективи використання інноваційних технологій у сферах фінансів, медицини, безпеки і охорони громадського порядку, а також застосування для електронного документообігу, управління транспортом та впровадження робототехніки тощо.

Проведено аналіз концепцій побудови та функціонування сучасних інформаційних мереж. Визначено основні завдання взаємодії різнотипних систем та розроблено вимоги до їх сталого функціонування. Досліджено теоретичні засади щодо побудови телекомунікаційних гетерогенних мереж.

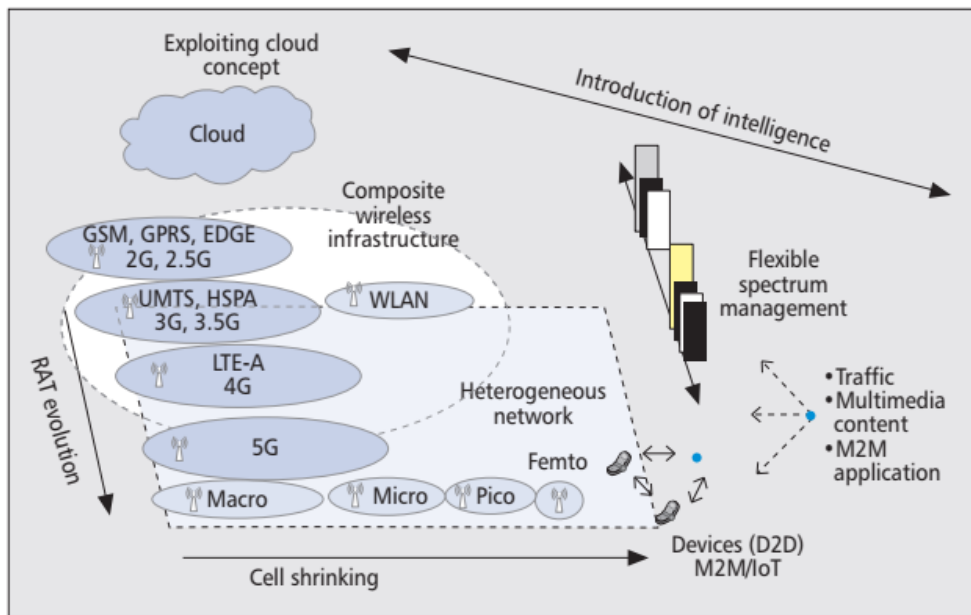


Рис.1. Архітектура телекомунікаційних гетерогенних мереж

Таким чином, враховуючи сучасний стан об'єкту та предмету дослідження на основі проведеного аналізу зроблено висновок, що актуальною науковою проблемою дослідження є розроблення методики взаємодії телекомунікаційних мереж в умовах невизначеності на базі теорії управління для вирішення тематичних завдань, що є перспективним, важливим і економічно обґрунтованим напрямом розвитку науки і техніки. Вирішення зазначених питань є суттю подальшого проведення досліджень і практичної реалізації, що визначають мету та задачі дисертаційної роботи.

Другий розділ присвячено дослідженню методики взаємодії підсистем телекомунікаційної мережі.

Завжди можна сформулювати такі нереальні цілі, які при обмеженому ресурсі ні на якому об'єкті не можуть бути реалізовані. Ця обставина зазвичай змушує коригувати цілі управління, що, в свою чергу, неминує змінює об'єкт управління та інше. Саме тому ціль не виникає окремо від об'єкта. Суб'єкт аналізує різні варіанти, цілі і об'єкт одночасно, вони пов'язані один з одним і активно взаємодіють. Тому

запропоновано розділити ці процеси, тобто, синтез цілі розглянути незалежно від процесу виділення об'єкта із середовища, хоча в дійсності вони йдуть паралельно.

Запропоновано дозволити, виключивши зворотний вплив об'єкта на ціль. Цей вплив можна врахувати на наступному етапі, після того як визначено об'єкт і вивчені його можливості з точки зору досягнення поставленої цілі. Розглянуто процес утворення цілей і досліджено його специфіку, цілі висуваються суб'єктом. Дано визначення, що являє собою суб'єкт, чії цілі ми плануємо реалізувати за допомогою синтезованої системи управління. Для цього розглянута модель суб'єкта.

Система управління реалізує задану їй ціль Z^* . При цьому потреби суб'єкта задовольняють за допомогою каналу Y .

Запропоновано певний оптимум «розмірів» об'єкта управління.

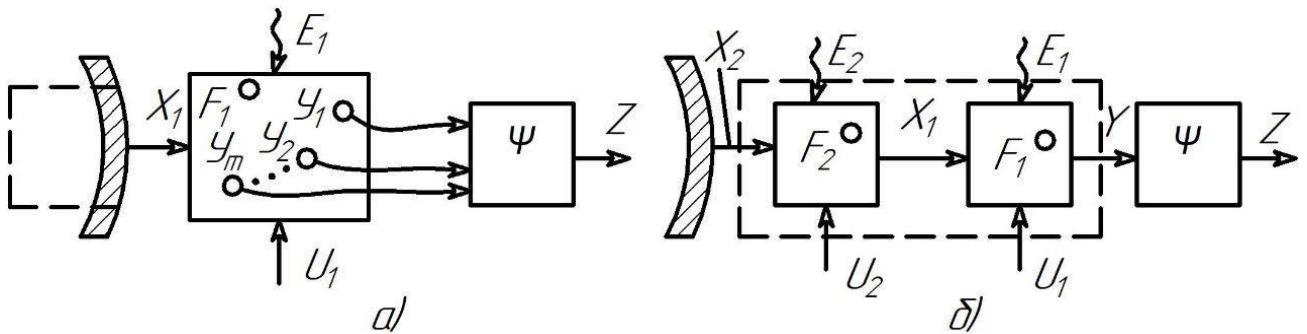


Рис. 2. Вибір меж об'єкта управління

На рисунку 2 показані два варіанти об'єкта управління. Тут y_1, \dots, y_m - точка фіксації інформації, необхідної для оцінки можливості реалізації безлічі цілей $\{Z^*\}$ в об'єкті, причому $Y = (y_1, \dots, y_m)$. Ці точки повинні бути в будь-якому варіанті об'єкта. У першому варіанті (рис. 2 а) встановлюється зв'язок між входами і виходами в вигляді

$$Y = F_1^0(X_1, U_1, E_1)$$

де X_1 - контрольований, U_1 - керований, а E_1 - неконтрольований входи.

Цей варіант об'єкта можна розширити, додавши до нього частину середовища, показану на рисунку 2 а) штрихованою лінією. Якщо спробувати керувати цією частиною середовища, тобто вважати її частиною об'єкта, то вдасться впливати на раніше не керований вхід X , що розширює можливості управління.

На рисунку 2 б) штриховою лінією показаний розширений таким чином об'єкт, для якого

$$Y = F_1^0(F_2^0(X_2, U_2, E_2), U_1, E_1)$$

Тут управління U_1 не виключається, до нього додається ще U_2 , яке дозволяє управляти додатково приєднаною частиною.

Виокремлюючи параметри середовища і називаючи їх різними варіантами об'єкта, ми можемо перевірити, чи досягаються задані цілі управління в цьому

варіанті об'єкта. Повторюючи цю процедуру для різних версій виокремлення, ми зупиняємось на тому варіанті об'єкта, який дозволяє отримати максимальну керованість.

В роботі використано метод експертних оцінок для ефективного виділення об'єктів з навколишнього середовища та його керованості. Отримавши від всіх експертів значення W_i^j ($i=1, \dots, N_j$) слід прийняти рішення про значення цього чинника. Це значення з урахуванням компетентності експертів можна визначати як середньозважену з вагами, рівними коефіцієнтами компетентності:

$$W^l = (\sum_{i=1}^{N_j} W_i^j k_i^j) / \sum_{i=1}^{N_l} k_i^j.$$

Як видно, думка кожного експерта зважується значенням його коефіцієнта компетентності. Тому думки малокомпетентних експертів автоматично враховуються в меншій мірі.

Встановлено, що експертна оцінка некерованості об'єкта приймає вид

$$\bar{P} = (\sum_{j=1}^N k_j \bar{P}_j) / \sum_{j=1}^N k_j$$

де k_j - компетентність j -го експерта, а \bar{P}_j , - оцінка некерованості об'єкта j -м експертом.

Проведено структурний синтез моделі об'єкта управління, що визначає вид і характер зв'язку між входами (X і U) виходами (Y) на етапах ідентифікації і планування експериментів. При цьому використано метод безпосереднього ранжирування та метод парних порівнянь.

Отже, для різноманітних телекомунікаційних мереж даний підхід дозволяє знайти баланс параметрів та вирішити можливі конфлікти різних технологій передачі інформації.

Третій розділ присвячено удосконаленню процесу математичного моделювання взаємодії телекомунікаційних систем і розробці моделей з урахуванням взаємовигідних компромісів на етапі моделювання.

В час стрімкого зростання кількості технологій, які забезпечують процеси збору та обміну інформацією, її обробки, збереження для різноманітних процедур застосовуються протоколи побудови телекомунікаційних систем, але розробники часто не враховують можливі конфліктні ситуації при взаємодії таких систем в одній мережі.

Для математичного моделювання конфліктних ситуацій застосовано теорію ігор. При проведенні аналізу взаємодії декількох систем визначено, що даний підхід впирається в принципову проблему теорії ігор - відсутність єдиного принципу оптимальної поведінки.

Власна мета управління - вироблення керуючих впливів. На процес вироблення і здійснення керуючих впливів впливає зовнішнє середовище.

Нехай U і V - множини керуючих впливів (параметрів), що потребують узгодження) першого і другого гравців відповідно; $g^1: U \times V \rightarrow \mathbf{R}$ і $g^2: U \times V \rightarrow \mathbf{R}$ - їх

функції виграшу. Де перший гравець - це основна, базова станція макросоти, а другий – це допоміжна станція що утворює свою мікросоту. Розглянемо випадок, коли першому гравцеві (центру) невідома точно функція виграшу другого (вибір каналу передачі та потужності передавача для забезпечення стабільної передачі даних з максимальною швидкістю). Однак будемо вважати, що йому відомо параметричне сімейство функцій $\tilde{g}^2(u, v, \alpha) \alpha \in A$, якому заздалегідь належить функція $g^2(u, v)$, тобто $g^2(u, v) = \tilde{g}^2(u, v, \beta)$ при деякому $\beta \in A$. Для простоти припустимо, що множина A скінчена: $A = \{1, 2, \dots, n\}$.

Розглянемо наступну процедуру прийняття рішень. Центр розраховує на інформацію про вибір другого гравця і дійсно буде її мати. У цих умовах він вибирає параметричне сімейство стратегій $\tilde{u}^\gamma : V \rightarrow U$ і повідомляє його другому гравцеві (параметр γ пробігає множину A). Другий гравець знає тільки, що стратегія центру буде обрана з цього сімейства, і поводить себе обережно через наявність невизначеності, яка залишилася. Більш точно множина $R(\tilde{u}, \alpha)$ раціональних відповідей другого гравця на сімейство стратегій $\{\tilde{u}^\gamma\}$ при невизначеному факторі α визначається наступними умовами:

$$R(\{\tilde{u}^\gamma\}, \alpha) = \left\{ v \in V \mid \min_{\gamma \in A} g^2(\tilde{u}^\gamma(v), v) = \max_{v \in V} \min_{\gamma \in A} g^2(\tilde{u}^\gamma(v), v) \right\},$$

якщо максимум в цьому виразі досягається

$$R(\{\tilde{u}^\gamma\}, \alpha) = \left\{ v \in V \mid \min_{\gamma \in A} g^2(\tilde{u}^\gamma(v), v) > \sup_{v \in V} \min_{\gamma \in A} g^2(\tilde{u}^\gamma(v), v) - \delta \right\}$$

в іншому випадку (тут δ - відома першому гравцеві позитивна величина).

Таким чином, повідомивши другому гравцеві сімейство стратегій \tilde{u}^γ , центр може гарантовано розраховувати на виграш

$$W_1(\{\tilde{u}^\gamma\}) = \min_{\alpha \in A} \inf_{v \in R(\{\tilde{u}^\gamma\}, \alpha)} \max_{\gamma \in A} g^1(\tilde{u}^\gamma(v), v).$$

Задача центру полягає в максимізації цієї величини.

Розробимо алгоритми максимальної дії першої g^1 станції та алгоритм максимальної протидії іншої станції g^2 .

Визначимо нижню ціну гри:

Нехай маємо матрицю $a(n, m)$, де n – кількість основних характеристик станції g^2 , m – кількість основних характеристик станції g^1 .

Знайдемо мінімальний виграш для кожної характеристики станції g^1 , тобто $\alpha_i = \min_j a := a[i, j]$

i	j	1	2	m
1		a_{11}	a_{12}	...	a_{1m}
2		a_{21}	a_{22}	...	a_{2m}
....					
n		a_{n1}	a_{n2}	...	a_{nm}

Рис. 3. Таблиця характеристик станцій g^1 і g^2

Розглянемо варіант максимального виграшу однієї із станцій: $\alpha = \max_i \min_j a_{ij}$.

Нехай станція g^1 має сильніші показники характеристик.

Таким чином можна знайти мінімальний виграш для кожної характеристики станції g^1 , та максимальний виграш функціонування g^1 .

Розглянемо варіант максимального програшу однієї із станцій. Так максимальний програш для кожної для кожної характеристики g^2

$$\beta_i = \max_j a_{ij}$$

та мінімальний програш

$$\beta = \min_j \max_i a_{ij}.$$

Обережність другого гравця по відношенню до невизначеності, що штучно вноситься центром, є досить суттєвим припущенням. З іншого боку, неоднозначне повідомлення центру про свої дії на практиці не виключено, а в такій ситуації припущення про обережність другого гравця досить природне. В іншому опис множини $R(\{\tilde{u}^\gamma\}, \alpha)$ раціональних відповідей цілком прийнятний зі змістовної точки зору, хоча й трохи незрозумілим. Обрано саме такий опис, оскільки він дозволяє уникнути ряд технічних складнощів при вирішенні задачі.

Будемо вважати, що множини U і V підмножини скінченно-вимірних евклідових просторів, причому множина V не містить ізольованих точок.

Приступимо до обчислення максимального гарантованого результату центру

$$W_1^0 = \sup_{\{\tilde{u}^\gamma\}} W_1(\{\tilde{u}^\gamma\}).$$

Задамо наступні функції і множини:

$$L(\alpha) = \max_{v \in V} \min_{u \in U} \tilde{g}^2(u, v, \alpha),$$

$$E(\alpha) = \text{Arg} \max_{v \in V} \min_{u \in U} \tilde{g}^2(u, v, \alpha),$$

$$D(\alpha) = \{(u, v) \in U \times V \mid \tilde{g}^2(u, v, \alpha) > L(\alpha)\},$$

$$M(\alpha) = \min_{v \in E(\alpha)} \max_{u \in U} g^1(u, v),$$

$$K(\alpha) = \sup_{(u, v) \in D(\alpha)} g^1(u, v).$$

Визначимо абсолютно оптимальну стратегію центру φ^0 і стратегії покарання другого гравця φ^γ ($\gamma \in A$) наступними умовами:

$$\varphi^0(v) = \arg \max_{u \in U} g^1(u, v),$$

$$\varphi^\gamma(v) = \arg \min_{u \in U} \tilde{g}^2(u, v, \gamma).$$

Розіб'ємо множину A на дві підмножини, що не перетинаються:

$$A_0 = \{\alpha \in A \mid D(\alpha) \neq \emptyset, K(\alpha) \geq M(\alpha)\},$$

$$A_1 = A \setminus A_0.$$

Нехай (u^α, v^α) реалізує (можливо, з ε -точністю) верхню межу у визначенні $K(\alpha)$ ($\alpha \in A_0$). Оскільки множина V не містить ізольованих точок, а функції g^1 і \tilde{g}^2 безперервні, ці точки можна вибрати так, що $v^\alpha \neq v^\beta$ при $\alpha \neq \beta$. Будемо вважати, що ця умова виконана.

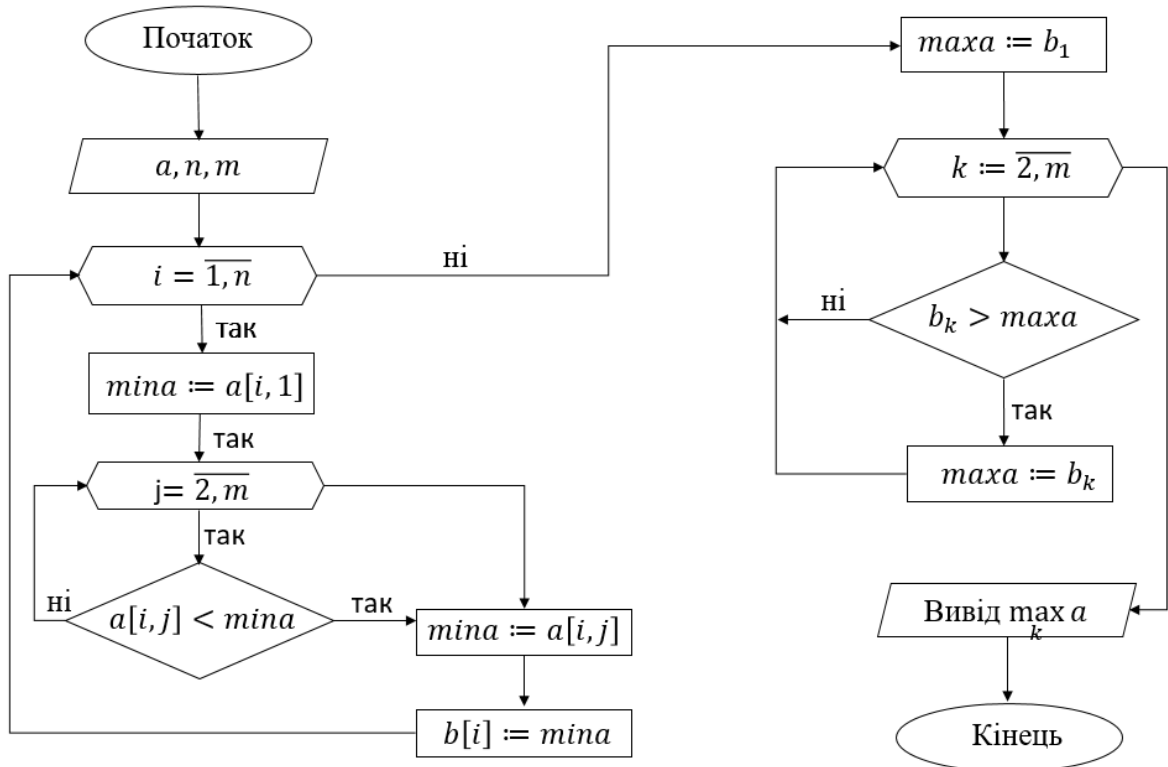


Рис. 4. Блок-схема алгоритму максимальної переваги показників станції g^1

Позначимо

$$D = \{v^\alpha | \alpha \in A_0\},$$

$$E = \bigcup_{\alpha \in A_1} E(\alpha)$$

Припустимо що, у сформульованих умовах максимальний гарантований результат центру дорівнює

$$W_1^0 = \min_{\alpha \in A} \max\{K(\alpha), M(\alpha)\}.$$

Цей результат гарантується вибором і повідомленням другому гравцеві сімейства стратегій

$$\tilde{y}^\gamma(v) = \begin{cases} u^\alpha, & \text{якщо } v = v^\alpha, \\ \varphi^\alpha(v), & \text{якщо } v \in E \setminus D, \\ \varphi^\gamma(v) & \text{в інших випадках.} \end{cases}$$

Зауважимо, що не використовувалися не тільки додаткові обмеження на структуру гри, але і конкретний вид стратегії \tilde{y} . Практично так само доводиться, що виграш, більший W_1^0 , не може бути гарантований центру ні на якому іншому класі стратегій.

В сучасних телекомунікаційних мережах підтримується концепція синергії різнорідних мереж. Так, в соті безпроводових гетерогенних мереж можуть працювати технології глобальних мереж з великим радіусом покриття і локальні мережі з маленьким радіусом покриття. Передача абонента в зону дії меншої мережі здійснюється за певних умов та потребує певної моделі для взаємодії та погодження параметрів, а також відповідно коректної роботи системи управління гетерогенною мережею.

Удосконалено моделі взаємодії рівноправних підсистем в умовах, коли учасники конфлікту мають неповну інформацію про параметри системи в цілому, тобто випадок конфліктної динамічної взаємодії систем в умовах невизначеності.

На відміну від випадку ієрархічних ігор, в даному випадку природно припустити, що гравці керуються деякими симетричними принципами раціональної поведінки. Оскільки кількість різних постановок задач при цьому надзвичайно велика, не є можливим описати всі постановки докладно. Розглянемо задачу коли проходить взаємодія двох рівноправних підсистем радіодоступу. Такими рівноправними можуть бути мережі, що працюють в неліцензійному радіочастотному спектрі оскільки вони часто працюють на одній і тій же частоті. З появою мереж з підтримкою концепції IoT є актуальним необхідність вирішення подібних задач взаємодії.

Керівним міркуванням буде служити наступне змістовне уявлення про рівновагу за Нешем: ситуація в грі є рівноважною за Нешем, коли жодному з гравців не вигідно самотужки відхилитися від цієї ситуації. Крім того, на ці узагальнення природно накласти наступне обмеження: в граничному окремому випадку, коли безліч можливих значень невизначеного фактору складається з одного елемента, запропоноване поняття має збігатися з традиційним поняттям рівноваги.

Нехай задана гра з невизначеним фактором

$$\langle U, V, J^1, J^2, A \rangle.$$

Тут, як і раніше, U, V - множини стратегій першого і другого гравців відповідно; $J^1: U \times V \times A \rightarrow \mathbf{R}$, $J^2: U \times V \times A \rightarrow \mathbf{R}$ - їх функції виграшу; A - множина можливих значень невизначеного фактору. Проінформованість гравців про значення невизначеного фактору α однакова: вони обидва знають тільки факт $\alpha \in A$.

Визначимо дев'ять властивостей $U.1 - U.9$ ситуації (u^0, v^0) наступним чином:

$$U.1: \inf_{u \in U} \inf_{\alpha \in A} [J^1(u^0, v^0, \alpha) - J^1(u, v^0, \alpha)] \geq 0,$$

$$U.2: \inf_{u \in U} \sup_{\alpha \in A} [J^1(u^0, v^0, \alpha) - J^1(u, v^0, \alpha)] \geq 0,$$

$$U.3: \inf_{\alpha \in A} J^1(u^0, v^0, \alpha) - \supinf_{u \in U, \alpha \in A} J^1(u, v^0, \alpha) \geq 0,$$

$$U.4: \sup_{\alpha \in A} J^1(u^0, v^0, \alpha) - \supsup_{u \in U, \alpha \in A} J^1(u, v^0, \alpha) \geq 0,$$

$$U.5: \sup_{\alpha \in A} J^1(u^0, v^0, \alpha) - \supinf_{u \in U, \alpha \in A} J^1(u, v^0, \alpha) \geq 0,$$

$$U.6: \inf_{\alpha \in A} J^1(u^0, v^0, \alpha) - \supinf_{u \in U, \alpha \in A} J^1(u, v^0, \alpha) \geq 0,$$

$$U.7: \supinf_{\alpha \in A, u \in U} [J^1(u^0, v^0, \alpha) - J^1(u, v^0, \alpha)] \geq 0,$$

$$U.8: \inf_{\alpha \in A} J^1(u^0, v^0, \alpha) - \inf_{\alpha \in A} \sup_{u \in U} J^1(u, v^0, \alpha) \geq 0,$$

$$U.9: \sup_{\alpha \in A} J^1(u^0, v^0, \alpha) - \inf_{\alpha \in A} \sup_{u \in U} J^1(u, v^0, \alpha) \geq 0.$$

Помінявши ролями першого і другого гравців, можна визначити властивості $V.1 - V.9$, аналогічні властивостям $U.1 - U.9$ відповідно.

Можна стверджувати, що ситуація (u^0, v^0) називається $(U.i, V.j)$ -ситуацією рівноваги тоді і тільки тоді, коли вона має властивості $U.i$ та $V.j$ ($i = \overline{1,9}, j = \overline{1,9}$).

Цікаво порівняти введені нами умови за силою. Результат такого порівняння наведено на рисунку 5.

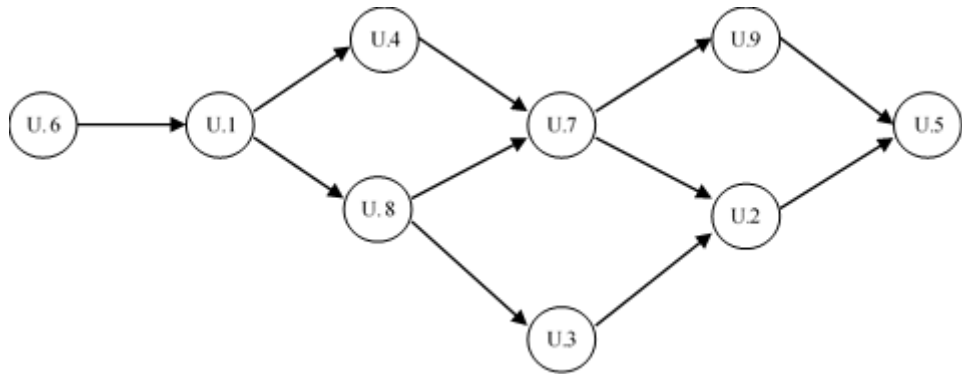


Рис. 5. Порівняння рівноваги за силою

Стрілка, що йде від кола $U.i$ до кола $U.j$, означає, що множина ситуацій, які володіють властивістю $U.i$, міститься в множині ситуацій, які володіють властивістю $U.j$, причому можливий як випадок їх збігу, так і випадок суворого включення. Докази цих фактів дуже прості і спираються лише на найпростіші властивості мінімаксів, тому ми їх не наводимо. Наведена діаграма сповнена в тому сенсі, що не можна, взагалі кажучи, додати жодної стрілки з дотриманням колишніх умов (зрозуміло, якщо відповідне включення не виходить із зазначених на діаграмі в силу транзитивності).

Отже, досліджено умови рівноваги в грі з невизначеним фактором. Всі вони можуть розглядатися як узагальнення визначення рівноваги за Нешем. Розроблено моделі взаємодії телекомунікаційних систем з урахуванням взаємовигідних компромісів на етапі моделювання.

У четвертому розділі представлені результати розробки методики аналітичної імовірності оцінки якості функціонування перспективних телекомунікаційних систем (ТКС) на основі використання апарату умовних імовірностей.

В умовах високої динаміки розвитку телекомунікаційної сфери однією з основних проблем, яка стоїть перед розробниками телекомунікаційних систем, є проблема оцінки доцільності вибору з великого різноманіття нових мережевих і інформаційних технологій, що з'являються на телекомунікаційному ринку однієї або декількох сумісних технологій (не виключаючи розробку власних), забезпечить приріст якості інформаційних послуг для користувача при мінімальних затратах ресурсів на їх реалізацію. Ті самі завдання стоять і при визначенні експертизи якості технічних рішень, яка спрямована на формування експертних оцінок, що засновані на аналізі деяких показників якості проектованої системи. На практиці організація експертної діяльності в сфері телекомунікаційних проектів у більшості випадків зводиться до суб'єктивної оцінки заказником ступеню відповідності наданих розробником матеріалів суб'єктивним вимогам технічного завдання. А в ході стрімкого розвитку телекомунікаційних технологій виникає протиріччя між суб'єктивним характером прийняття експертного рішення (формування експертної оцінки) за наданими матеріалами проекту телекомунікаційної системи з одного боку та стрімким ростом автоматизації процесу телекомунікаційних систем з іншого.

Подальші кроки сформовані на досягнення оптимізації систем показників якості, що належать оцінці в ході експертизи телекомунікаційних процесів.

Аналіз різних методів формування глобальної системи показників якості (ГСПЯ) інформаційних систем показав, що найбільш повний облік особливостей розв'язання задачі оцінки якості функціонування ТКС, а також природне рішення проблем нормалізації і згортки систем показників якості (ПЯ) досягається при застосуванні методу імовірнісної скаляризації.

Суть методу полягає у використанні в якості експертної ГСПЯ спільної імовірності виконання вимог, що пред'являються користувачем до перспективної ТКС по своєчасній, достовірній, і економічній передачі повідомлень

$$P_{\text{вик.ф}} = P[\vec{Y}_{\text{ф}} \leq \vec{Y}_{\text{ф в}}],$$

де $\vec{Y}_{\text{ф}}$, $\vec{Y}_{\text{ф в}}$ - вектори (експертного показника якості) ЕПЯ функціонування ТКС і вимог до них.

Доцільність вибору цього методу в якості базового, обумовлена можливістю обліку, на його основі, випадкового характеру зміни більшості ЕПЯ проектованої ТКС, а також реальною можливістю гарантованого вирішення основних проблем багатокритеріальної оцінки якості та ефективності ТКС (тобто нормалізації компонент векторних ПЯ і їх згортки) в рамках імовірнісного підходу.

Метод заснований на поетапному обчисленні ЕПЯ на кожному кроці оцінювання і згортки їх в ГЕСПЯ на цьому ж кроці. До основних недоліків методу можуть бути віднесені складності обчислення багатовимірних спільних густин імовірностей розподілу значень ЕПЯ і неможливість врахування на його основі особливостей багаторівневої побудови ТКС відповідно до ЕМВВС. В даному випадку, аналітична формулювання ГЕСПЯ, може бути представлена в наступному вигляді:

$$P_{\text{вик ф}} = P[(\vec{Y}_{\text{ф}} \leq \vec{Y}_{\text{ф в}}) / (\vec{Y}_{\text{ТКС в}})] = P_{\text{вик іо}}[(\vec{Y}_{\text{іо}} \leq \vec{Y}_{\text{іо в}}) / (\vec{Y}_{\text{упр}} \leq \vec{Y}_{\text{упр в}})] \times \\ \times P_{\text{вик упр}}[(\vec{Y}_{\text{упр}} \leq \vec{Y}_{\text{упр в}}) / (\vec{Y}_{\text{сіо}} \leq \vec{Y}_{\text{сіо в}})] \times \\ \times P_{\text{вик сіо}} \left[\frac{\vec{Y}_{\text{сіо}} \leq \vec{Y}_{\text{сіо в}}}{(\vec{Y}_{\text{су}} \leq \vec{Y}_{\text{су в}})} \right] \times P_{\text{вик су}}[(\vec{Y}_{\text{су}} \leq \vec{Y}_{\text{су в}})],$$

де $P_{\text{вик іо}}[\bullet/\bullet]$, $P_{\text{вик упр}}[\bullet/\bullet]$, $P_{\text{вик сіо}}[\bullet/\bullet]$ - умовні імовірності виконання вимог до якості інформаційного обміну та управління, програмно-апаратним комплексам (системі) інформаційного обміну та управління мережевого рівня ТКС відповідно, що визначаються при умови виконання вимог до ЕПЯ СУ: $P_{\text{вик су}}(\bullet)$ – безумовна імовірність виконання вимог до ЕПЯ СУ. Приклад функціональної факторизації ГЕСПЯ наведено на рисунку 6.

Вирази для розрахунку імовірностей виконання вимог до якості інформаційного обміну, управління, якості функціонування СІО і СУ можуть бути записані в наступному вигляді:

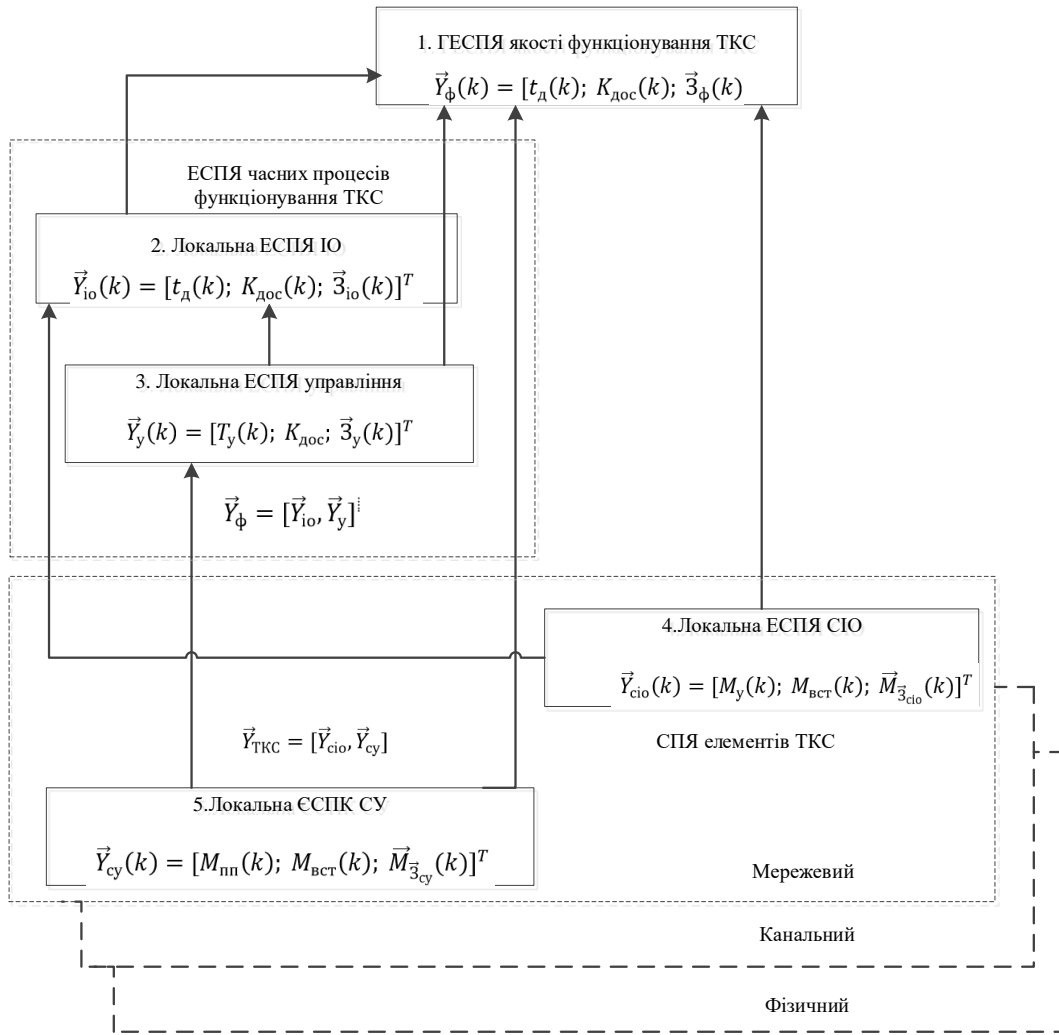


Рис. 6. Функціональна факторизація глобальної експертної системи показників якості ТКС

$$P_{\text{вик іо}}[\bullet/\bullet] = P_{\text{сд}}[(t_{\text{дос}} \leq t_{\text{дос в}})/(K_{\text{пом}} \leq K_{\text{пом в}})] \times \\ \times P_{\text{вилог}} \left[\frac{(K_{\text{пом}} \leq K_{\text{пом в}})}{Y_{\text{упр}} \geq Y_{\text{упр в}}} \right] \times P_{\text{вик упр}}[(Y_{\text{упр}} \geq Y_{\text{упр в}})];$$

$$P_{\text{вик упр}}[\bullet/\bullet] = P_{\text{опер}}[(T_{\text{цу}} \leq T_{\text{цу доп}})] \times P_{\text{точ упр}}[(\Delta \vec{Y}_{\text{іо}} \leq \Delta \vec{Y}_{\text{іо доп}})/ \\ (\vec{Y}_{\text{безп}} \leq \vec{Y}_{\text{безп в}})] \times P_{\text{безп}} \left[\frac{(\vec{Y}_{\text{безп}} \leq \vec{Y}_{\text{безп в}})}{\vec{Y}_{\text{су}} \leq \vec{Y}_{\text{су в}}} \right] \times P_{\text{вик ппз}}[\vec{Y}_{\text{ппз в}} \leq \vec{Y}_{\text{ппз в}}];$$

$$P_{\text{вик сіо}}[\bullet/\bullet] = P_{\text{вик ппз}}[(\vec{Y}_{\text{вик ппз сіо}} \geq \vec{Y}_{\text{вик ппз сіо в}})]/(\vec{Y}_{\text{вик сн}} \geq \vec{Y}_{\text{вик сн в}})] \times \\ \times P_{\text{вик сн}} \left[\frac{\vec{Y}_{\text{вик сн}} \geq \vec{Y}_{\text{вик сн в}}}{\vec{Y}_{\text{вик тн}} \geq \vec{Y}_{\text{вик тн в}}} \right] \times$$

$$\times P_{\text{вик тн}}[(\vec{Y}_{\text{вик тн}} \geq \vec{Y}_{\text{вик тн в}})]/(\vec{Y}_{\text{вик су}} \geq \vec{Y}_{\text{вик су в}})] \times P_{\text{вик су}}[(\vec{Y}_{\text{вик су}} \geq \vec{Y}_{\text{вик су в}})],$$

$$\vec{z} \leq \vec{z}_в;$$

$$P_{\text{вик ппз}} = P_{\text{мер ппз}} [(\vec{Y}_{\text{вик ппз сіо}} \geq \vec{Y}_{\text{вик ппз сіо в}}) / (\vec{Y}_{\text{вик ппз кан}} \geq \vec{Y}_{\text{вик кан в}})] \times \\ \times P_{\text{кан ппз}} \left[\frac{\vec{Y}_{\text{вик ппз кан}} \geq \vec{Y}_{\text{вик кан в}}}{\vec{Y}_{\text{вик ппз фіз}} \geq \vec{Y}_{\text{вик ппз фіз в}}} \right] \times P_{\text{фіз ппз}} [(\vec{Y}_{\text{вик ппз фіз}} \geq \vec{Y}_{\text{вик ппз фіз в}})]$$

$$P_{\text{вик су}} [\bullet / \bullet] = P_{\text{вик ппз су}} [(\vec{Y}_{\text{вик ппз су}} \geq \vec{Y}_{\text{вик ппз су в}}) / (\vec{Y}_{\text{вик пп су}} \geq \vec{Y}_{\text{вик пп су в}})] \times \\ P_{\text{вик пп су}} [(\vec{Y}_{\text{вик пп су}} \geq \vec{Y}_{\text{вик пп су в}}) / (\vec{Y}_{\text{вик тн су}} \geq \vec{Y}_{\text{вик тн су в}})] \times P_{\text{вик тн су}} [(\vec{Y}_{\text{вик тн су}} \geq \vec{Y}_{\text{вик тн су в}})];$$

$$\vec{3} \leq \vec{3}_в;$$

$$P_{\text{вик ппз су}} = P_{\text{вик ппз мер}} \left[\frac{\vec{Y}_{\text{вик ппз мер}} \geq \vec{Y}_{\text{вик ппз мер в}}}{\vec{Y}_{\text{вик ппз кан}} \geq \vec{Y}_{\text{вик ппз кан в}}} \right] \times \\ \times P_{\text{вик ппз кан}} [(\vec{Y}_{\text{вик ппз кан}} \geq \vec{Y}_{\text{вик ппз кан в}}) / (\vec{Y}_{\text{вик ппз фіз}} \geq \vec{Y}_{\text{вик ппз фіз в}})] \times P_{\text{вик ппз фіз}} [\vec{Y}_{\text{вик пп фіз}} \geq \vec{Y}_{\text{вик пп фіз в}}];$$

$$P_{\text{вик пп кан}} = P_{\text{вик пп мер}} [(\vec{Y}_{\text{вик пп мер}} \geq \vec{Y}_{\text{вик пп мер в}}) / (\vec{Y}_{\text{вик пп кан}} \geq \vec{Y}_{\text{вик пп кан в}})] \times \\ P_{\text{вик пп кан}} [(\vec{Y}_{\text{вик пп кан}} \geq \vec{Y}_{\text{вик пп кан в}}) / (\vec{Y}_{\text{вик пп фіз}} \geq \vec{Y}_{\text{вик пп фіз в}})] \times P_{\text{вик пп фіз}} [(\vec{Y}_{\text{вик пп фіз}} \geq \vec{Y}_{\text{вик пп фіз в}})],$$

де $P_{\text{сд}}$ - імовірність своєчасної доставки повідомлень, $P_{\text{вилог}}$ - імовірність виконання вимог до показників вилогідності інформації, що циркулює в ТКС, $K_{\text{пом}}$ - коефіцієнт помилок, $P_{\text{опер}}$ - імовірність виконання вимог до показників оперативності управління, $P_{\text{точ упр}}$ - імовірність виконання вимог до показників точності (дієвості) управління, $P_{\text{безп}}$ - імовірність виконання вимог до показників безперервності управління, $P_{\text{вик ппз}}$ - імовірність виконання вимог до показників пропускнуї здатності каналів (виділених фізичних, виділених логічних, логічних) обміну управляючою інформацією, $P_{\text{вик сн}}$ - імовірність виконання вимог до показників структурної надійності ТКС, $P_{\text{вик тн}}$ - імовірність виконання вимог до показників технічної надійності, $P_{\text{вик ппз мер}}$ - імовірність виконання вимог до показників пропускнуї здатності мережевого рівня ТКС, $P_{\text{вик ппз кан}}$ - імовірність виконання вимог до показників пропускнуї здатності каналного рівня ТКС, $P_{\text{вик ппз фіз}}$ - імовірність виконання вимог до показників пропускнуї здатності фізичного рівня ТКС, $P_{\text{вик пп су}}$, $P_{\text{вик пп кан}}$, $P_{\text{вик пп фіз}}$ - імовірності виконання вимог до показників продуктивності СУ в інтересах мережевого, каналного і фізичного рівнів ЕМ ВВС відповідно, $\vec{3} \leq \vec{3}_в$ - умова виконання вимог по експлуатаційним витратам. При необхідності, в рамках загального імовірнісного підходу, вимога може бути представлена у вигляді безумовної імовірності описуваної, наприклад, дельта-функцією:

$$\omega(\vec{3}_{\text{сіо(су)}} / \vec{Y}_{\text{сіо}}; \vec{Y}_{\text{су}}) = \delta(\vec{3}_{\text{сіо(су)}} - \vec{3}_{\text{сіо(су)в}}).$$

Представлено алгоритм обчислення ЕПЯ СУ ТКС, який включає в себе, в даному випадку п'ять основних етапів: 1) визначення імовірності виконання вимог до показників продуктивності системи управління ТКС на фізичному рівні $P_{\text{вик пп фіз}}[\vec{Y}_{\text{вик пп фіз}} \geq \vec{Y}_{\text{вик пп фіз в}}]$ (подія Н1); 2) визначення імовірності виконання вимог до продуктивності СУ на каналному рівні $P_{\text{вик пп кан}}[(\vec{Y}_{\text{вик пп кан}} \geq \vec{Y}_{\text{вик пп кан в}})/N_1]$, умовної по події Н1: $\vec{Y}_{\text{вик пп фіз}} \geq \vec{Y}_{\text{вик пп фіз в}}$; 3) визначення імовірності виконання вимог до продуктивності СУ ТКС в цілому $\vec{Y}_{\text{вик пп мер}} \geq \vec{Y}_{\text{вик пп мер в}}$, умовної по подіям Н1 і Н2: $\vec{Y}_{\text{вик пп кан}} \geq \vec{Y}_{\text{вик пп кан в}}$; 4) визначення імовірності виконання вимог до продуктивності СУ ТКС $P_{\text{вик пп су}} = P_{\text{вик пп мер}} P_{\text{вик пп кан}} P_{\text{вик пп фіз}}$ і підстановка отриманого значення в вираз для обчислення $P_{\text{вик су}}[\bullet/\bullet]$. 5) повторення етапів 1-4 при реалізація альтернативних технічних рішень, визначення максимального значення часного експертного показника якості (ЧЕПК) із варіантів які задовольняють умовам критерію. Аналогічним чином проводиться згортка складових ЕПЯ для інших підпроцесів і підсистем до моменту обчислення значення $P_{\text{вик ф}} = P[(\vec{Y}_{\text{ф}} \geq \vec{Y}_{\text{ф в}})]$.

Таким чином, наведені вище вирази реалізуються не у вигляді простого перемноження імовірностей, а за допомогою послідовно обчислення умовних імовірностей починаючи з останнього (безумовного) елемента.

Необхідно відзначити, що розроблена методика, на відміну від методики представленої в роботах, дозволяє врахувати особливості проектно-технічних рішень реалізованих на фізичному, каналному і мережевому рівнях ТКС. Крім того, в даному випадку, реалізується послідовна згортка одновимірних умовних імовірностей, тоді як у роботах, розглядаються багатовимірні умовні щільності ймовірності, що істотно ускладнює практичне застосування пропонованих методик.

Таким чином, запропонований підхід дозволяє формувати оцінку якості проектно-технічних рішень на основі аналізу чисельних значень ЕПЯ. Аналіз чисельних значень дозволить значною мірою знизити ступінь суб'єктивності експертних оцінок і спростити процедуру прийняття експертного рішення щодо якості проектних варіантів побудови ТКС.

Отже, на основі проведеного аналізу сучасних телекомунікаційних мереж для вирішення завдань їх взаємодії та підвищення ефективності процесу управління об'єктами різнорідних мереж, удосконалено методику управління об'єктами телекомунікаційної мережі, на базі методу експертних оцінок, розроблено алгоритм максимальної переваги в роботі базової станції телекомунікаційної мережі, розроблено модель взаємодії різнорідних підсистем телекомунікаційної мережі, розроблено модель взаємодії рівноправних підсистем в умовах, коли учасники конфлікту мають неповну інформацію про параметри системи в цілому, розроблено методику оцінки якості функціонування перспективних телекомунікаційних систем, які формують методику взаємодії телекомунікаційних мереж в умовах невизначеності на базі теорії управління

ВИСНОВКИ

У дисертації, згідно з поставленою метою, на основі теоретичних досліджень розв'язано важливу науково-прикладну задачу, а саме розроблено методіку взаємодії телекомунікаційних мереж в умовах невизначеності на базі теорії управління. Отримані в даній дисертаційній роботі результати, носять самостійне значення й можуть бути використані для планування, проектування, будівництва та експлуатації телекомунікаційних мережі.

У дисертаційній роботі одержані основні результати:

1. На підставі проведеного аналізу визначено, що покращення взаємодії телекомунікаційних мереж дозволить підвищити продуктивність функціонування існуючих мереж за рахунок підвищення їх ефективної роботи, експлуатації радіочастот, спільного використання транспортної мережі, впровадження спільної системи управління, розширення спектру послуг та виконання основних завдань, щодо ефективної взаємодії як сегментів однієї мережі так і взаємодії різнотипних телекомунікаційних мереж. Виявлено протиріччя між необхідністю розвитку інфраструктури телекомунікаційних мережі та відсутністю науково-методичного апарату взаємодії телекомунікаційних мереж в умовах невизначеності.

2. Проведено аналіз існуючих методів побудови систем управління. Запропоновано використовувати експертний метод оцінки керованості об'єкта для розробки моделі системи управління об'єктами телекомунікаційної мережі. Удосконалено методіку управління об'єктами телекомунікаційної мережі, що на відміну від існуючих підвищує ефективність їх функціонування.

3. Запропоновано алгоритм максимальної переваги в роботі базової станції телекомунікаційної мережі в процесі взаємодії з іншими мережами. Даний алгоритми є аналогією математичною процесу, який доцільно застосовувати при проектуванні різнотипних мереж, що мають деякі задані властивості.

4. Розроблено модель взаємодії різнорідних підсистем телекомунікаційної мережі. Для математичного моделювання конфліктних ситуацій застосовано теорію ігор.

5. Розроблено модель взаємодії рівноправних підсистем в умовах, коли учасники конфлікту мають неповну інформацію про параметри системи в цілому. Це дозволяє будувати гетерогенні телекомунікаційні мережі з повноцінною взаємодією сегментів глобального та локального характеру.

6. Розроблено методіку, що дозволяє врахувати особливості проектно-технічних рішень реалізованих на фізичному, каналному і мережевому рівнях ТКС. Крім того, в даному випадку, реалізується послідовна згортка одновимірних умовних імовірностей, тоді як у відомих роботах, розглядаються багатовимірні умовні щільності ймовірності, що істотно ускладнює практичне застосування пропонованих методик, що дозволяє збільшити швидкість передачі інформації на 17%.

7. Достовірність отриманих наукових результатів забезпечується збіжністю теоретичних результатів з результатами статистичного моделювання, при цьому результати моделювання застосування системи у різних ситуаціях підтверджують

основні закономірності функціонування телекомунікаційних мереж.

8. Результати досліджень впроваджені у практичній діяльності Науково-технічного центру Енергозв'язок, провайдера ширококосмугового доступу компанії «Freenet», інтегратора мережевого обладнання «АЙ ТІ ДЖИ», а також використовуються в навчальному процесі Державного університету телекомунікацій. Наукові положення і результати досліджень є внеском у розроблення й дослідження моделей і методів оцінювання якості і підвищення надійності, функціональної безпеки і живучості інформаційних мереж.

9. Досліджені методи і методики разом з розробленими алгоритмом та моделями формують методику взаємодії телекомунікаційних мереж в умовах невизначеності, що визначено метою дисертаційного дослідження.

Представлені дослідження, розроблена методика охоплюють новітні технологічні рішення, дозволяють спростити процес проектування телекомунікаційних мереж та забезпечують впровадження технологій управління об'єктами мереж і доцільні для найбільш ефективної реалізації їх в телекомунікаційних мережах України.

Мета досліджень щодо підвищення ефективності процесу взаємодії об'єктів різнорідних телекомунікаційних мереж на базі теорії управління досягнута. Наукові положення є внеском розроблення методів аналізу, синтезу, оптимізації та проектування телекомунікаційних систем і мереж зв'язку з метою підвищення їх технічної й економічної ефективності.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Сеньков О.В., Заєць В.М., Бондарчук А.П. «Необхідність використання конвергентних білінгових систем», Телекомунікаційні та інформаційні технології, № 2(55), 2017– С.20-24.

2. Сеньков О.В., Бондарчук А.П., Полоневич О.В., «Методы упрощения моделей информационных систем», Зв'язок, № 4, 2017– С.8-11.

3. Сеньков О.В., Чорна В.М., Ткаленко О.М., Полоневич О.В., «Особенности захисту інформації в NFC», Зв'язок, № 4, 2018– С.25-29.

4. Сеньков О.В., Вакась И.В., Федорова Н.В., Демин Д.А. «Перспективы использования протокола NTP в современных сетях связи», Зв'язок, № 5, 2018– С.16-20.

5. Сеньков О.В., Бондарчук А.П., Каргаполов Ю.В., Макаренко А.О., Придибайло А.Б., «Аналіз вимог при розробці системи управління прикладних задач ІОТ», Телекомунікаційні та інформаційні технології, № 1(58), 2018.

6. Сеньков О.В., Івченко М.М., Заїка В.Ф., Байдур О.Б., «Методика прогнозування значення таймера повторного передавання сегментів у протоколі ТСП у телекомунікаційних мережах із застосуванням технології MPLS», Зв'язок, № 1, 2019– С.45-49.

7. Сеньков О.В. «Оптимізація обміну інформацією в мережах в умовах невизначеності» Телекомунікаційні та інформаційні технології, № 4(57), 2020– С.26-34.

8. Сеньков О.В. Система для анализа и мониторинга радио покрытия базовых станций / Сагайдак В. А. // Тези доповідей XI Науково-технічної конференції «Сучасні інфокомунікаційні технології» (11 грудня 2020 р.) Збірник тез. К.ДУТ, 2020– С.64-65.

9. Сеньков О.В. Концепція побудови гетерогенних мереж безпроводового зв'язку / Пономаренко В.О., Пономаренко А.М. // Тези доповідей науково-практичної конференції «Telecommunication: problems and innovation» (м. Київ, ДУТ, 10 грудня 2020 р.) Збірник тез. К.ДУТ, 2020– С.27-28.

10. Сеньков О.В. Нові сфери застосування сучасних інформаційних мереж / Сорокін Д.В, Дібрівний О.А Тези доповідей науково- практичної конференції «Проблеми комп'ютерної інженерії» (м. Київ, ДУТ, 2 грудня 2020 р.) Збірник тез. К.ДУТ, 2020– С.73-74

11. Сеньков О.В. Застосування алгоритму “навчання з підкріпленням” для реалізації автоматизованого гравця-агента комп'ютерної відео-гри. / Казанцев В.Д. Сторчак К.П. // Тези всеукраїнської науково-технічна конференція «Сучасний стан та перспективи розвитку IoT». Збірник тез. – К.: ДУТ, 2020- С.17-18

12. Сеньков О.В. Дослідження застосування технології LTE для розумного виробництва та промисловості (Private LTE & smart manufacturing) / Сеньков О.В, Бондарчук А.П., Сорокін Д.В, Дібрівний О.А // Тези доповідей VIII Науково-технічної конференції «Сучасні інфокомунікаційні технології» (25 травня 2019 р.) Збірник тез. К.ДУТ, 2019– С.49-51.

13. Сеньков О.В. Інформаційні платформи e-commerce /Бондарчук А.П., Коваль І.С., Залива В.В. // Тези восьмої міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми інформатизації» (11 – 12 квітня 2017 року.) Збірник тез. К.ДУТ, 2017– С.98-99

14. Сеньков О.В. Роль програмних роботів в сучасних інформаційних системах /Бондарчук А.П., Коваль І.С., Залива В.В.// Тези восьмої міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми інформатизації» (11 – 12 квітня 2017 року.) Збірник тез. К.ДУТ, 2017– С.184-185

АНОТАЦІЯ

Сеньков О.В. Методика взаємодії телекомунікаційних мереж в умовах невизначеності на базі теорії управління. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 - Телекомунікаційні системи та мережі – Державний університет телекомунікацій, Київ, 2021 р.

Робота присвячена розробці методики взаємодії різномірних телекомунікаційних мереж в умовах невизначеності на базі теорії управління з

метою створення високоефективних сучасних мереж зв'язку, яка є актуальною та має важливе наукове і практичне значення.

Проведено аналіз концепцій побудови та функціонування сучасних телекомунікаційних мереж. Виявлено протиріччя між необхідністю розвитку інфраструктури телекомунікаційних мережі та відсутністю науково-методичного апарату взаємодії телекомунікаційних мереж в умовах невизначеності. Проаналізовано нові вимоги до систем управління та удосконалено методику управління об'єктами телекомунікаційної мережі, що на відміну від існуючих підвищує ефективність їх функціонування, що надзвичайно важливо для перспектив розвитку

Досліджено архітектуру телекомунікаційних мереж. Запропоновано алгоритм максимальної переваги в роботі базової станції телекомунікаційної мережі, який дозволяє спроектувати потрібну за функціоналом систему радіодоступу.

Досліджено методи прийняті рішення в умовах невизначеності для ефективної взаємодії телекомунікаційних систем та мереж, де потенційно може виникати конфлікт інтересів внутрішньомережних технологій. Розроблено модель взаємодії різнорідних підсистем телекомунікаційної мережі та модель взаємодії рівноправних підсистем в умовах, коли учасники конфлікту мають неповну інформацію про параметри системи в цілому.

Вперше розроблено методику, що дозволяє врахувати особливості проектно-технічних рішень реалізованих на фізичному, каналному і мережевому рівнях телекомунікаційної системи, що дозволяє формувати оцінку якості проектно-технічних рішень на основі аналізу чисельних значень експертних показників якості, який дозволить значною мірою знизити ступінь суб'єктивності експертних оцінок і спростити процедуру прийняття експертного рішення щодо якості проектних варіантів побудови телекомунікаційних систем.

Ключові слова: телекомунікаційна мережа, система, взаємодія, взаємовплив, управління, ефективність, відмовостійкість.

АННОТАЦІЯ

Сеньков О.В. Методика взаимодействия телекоммуникационных сетей в условиях неопределенности на базе теории управления. - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 - Телекоммуникационные системы и сети - Государственный университет телекоммуникаций, Киев, 2021

Работа посвящена разработке методики взаимодействия разнородных телекоммуникационных сетей в условиях неопределенности на базе теории управления с целью создания высокоэффективных современных сетей связи, является актуальной и имеет важное научное и практическое значение.

Проведен анализ концепций построения и функционирования современных телекоммуникационных сетей. Вывявлено противоречие между необходимостью развития инфраструктуры телекоммуникационных сети и отсутствием научно-

методического аппарата взаимодействия телекоммуникационных сетей в условиях неопределенности. Проанализированы новые требования к системам управления и усовершенствована методика управления объектами телекоммуникационной сети, в отличие от существующих повышает эффективность их функционирования, что чрезвычайно важно для перспектив развития

Исследовано архитектуру телекоммуникационных сетей. Предложен алгоритм максимальной преимущества в работе базовой станции телекоммуникационной сети, который позволяет спроектировать нужную по функционалу систему радиодоступа.

Исследованы методы принятые решения в условиях неопределенности для эффективного взаимодействия телекоммуникационных систем и сетей, где потенциально может возникать конфликт интересов внутрисетевых технологий. Разработана модель взаимодействия разнородных подсистем телекоммуникационной сети и модель взаимодействия равноправных подсистем в условиях, когда участники конфликта имеют неполную информацию о параметрах системы в целом.

Впервые разработана методика, позволяющая учесть особенности проектно-технических решений реализованных на физическом, канальном и сетевом уровнях телекоммуникационной системы, позволяющей формировать оценку качества проектно-технических решений на основе анализа численных значений экспертных показателей качества, который позволит в значительной степени снизить степень субъективности экспертных оценок и упростить процедуру принятия экспертного решения по качеству проектных вариантов построения телекоммуникационных систем.

Ключевые слова: телекоммуникационная сеть, система, взаимодействие, взаимовлияние, управление, эффективность, отказоустойчивость.

ANNOTATION

Senkov O.V. Methods of the telecommunication networks interaction in conditions of uncertainty on the basis of control theory. - On the rights of the manuscript.

The dissertation for the scientific degree of the candidate of technical sciences on a specialty 05.12.02 - Telecommunication systems and networks - State university of telecommunications, Kyiv, 2021.

The work is about the development of the interaction methods of heterogeneous telecommunication networks in conditions of uncertainty on the basis of control theory in order to create highly efficient modern communication networks, which is relevant and has important scientific and practical significance.

The concepts of construction and functioning of modern telecommunication networks analysis has been carried out. Contradictions between the necessity to develop the infrastructure of telecommunications networks and the lack of scientific and methodological apparatus of interaction of telecommunications networks in conditions of

uncertainty have been revealed. New requirements to management systems have been analyzed and the objects of a telecommunication network management technique has been improved that unlike existing increases efficiency of their functioning that is extremely important for prospects of development.

The architecture of telecommunication networks has been studied. It has been offered the algorithm of the maximum advantage in of the telecommunication network base station work, which allows to design a radio access system with necessary functionality.

It has been studied the methods of decision - making in conditions of uncertainty for effective interaction of telecommunication systems and networks, where potentially there may be a conflict of interest of intranet technologies. It has been developed a model of interaction of heterogeneous subsystems of the telecommunication network and a model of interaction of equal subsystems in conditions when the parties to the conflict have incomplete information about the parameters of the system as a whole.

For the first time, it has been developed a methodology, which takes into account the features of design and technical solutions implemented at the physical, channel and network levels of the telecommunications system, which allows to form the quality assessment of design and technical decisions based on the analysis of numerical values of expert quality indicators, which will significantly reduce the subjectivity of the expert assessments and simplify the procedure for making expert decisions on the quality of design options for telecommunications systems.

The presented researches and the developed technique provide the introduction of the interaction technologies of the identification and management of the information heterogeneous networks objects.

Keywords: telecommunication network, efficient management, management theory, game theory, expert decision, fault tolerance.