

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І ЗВ'ЯЗКУ**

**Царьов Роман Юрійович**



УДК 621.396

**МОДЕЛІ ТА МЕТОД БАГАТОЕТАПНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ СЕРВІСНИХ  
ПЛАТФОРМ В ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ**

05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

**ОДЕСА – 2024**

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Державному університеті інтелектуальних технологій і зв'язку Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** кандидат технічних наук, доцент

**НІКІТЮК Леся Андріївна,**

Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку,  
завідувачка кафедри комп'ютерної інженерії та  
інформаційних систем.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор

**ЄВДОКИМЕНКО Марина Олександрівна,**

Харківський національний університет радіоелектроніки,  
професор кафедри інфокомунікаційної інженерії імені  
В. В. Поповського;

доктор технічних наук, професор

**СЕМЕНОВ Андрій Олександрович,**


Вінницький національний технічний університет,  
професор кафедри інформаційних радіоелектронних  
технологій і систем.

Захист відбудеться «12» вересня 2024 року о 11 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.113.03 в Державному університеті інтелектуальних технологій і зв'язку за адресою: 65023, м. Одеса, вул. Кузнечна, 1, аудиторія 223.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Державного університету інтелектуальних технологій і зв'язку за адресою: 65023, м. Одеса, вул. Кузнечна, 1).

Автореферат розісланий «12» серпня 2024 року.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
Д 41.113.03  
к.т.н., доцент



Д. М. Степанов

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Сучасний етап еволюційного розвитку галузі зв'язку характеризується конвергентними процесами, які відбуваються одночасно в мережах, технологіях та послугах. Мережі зв'язку нового покоління стрімко набувають ознаки інфокомунікаційних мереж, тобто мереж, здатних надавати послуги необмеженого спектра. На базі інфокомунікаційних мереж створюються різноманітні мережеві інфраструктури для виробництва та надання різноманітних інформаційно-комунікаційних мережевих сервісів.

Розвиток інфокомунікацій сприяє постійному формуванню нових мережевих сервісів, як наслідок відбуваються зміна обсягів та структури мережевого трафіку, вимог користувачів. Все це формує нові вимоги щодо сервісних платформ (СП), ключового елементу інфокомунікаційних мереж, у контексті забезпечення їх високої ефективності, яка базується на неперервному й достовірному удосконаленні їх з урахуванням змін вимог користувачів і змін зовнішнього середовища. Очевидно, що моделі і методи створення сервісних платформ постійно потребують удосконалення як з боку розширення технічних можливостей, так і з боку підвищення їх функціональності.

Проблематикою СП в інфокомунікаційних мережах займається багато вітчизняних та зарубіжних науковців. Питанням оптимізації структури СП присвячено роботи таких вчених, як Урецький Я. С., Демідов І. В., Царев Л. С., Валеев А. К., Нікітюк Л. А. тощо.

Аспекти пов'язані з управлінням сучасних СП в інфокомунікаціях досліджують такі вчені, як Климаш М. М., Поповський В. В., Тіхонов В. І., Беркман Л. Н., Теленик С. Ф., Глоба Л. С., Hong J. W. та інші.

Питанням оптимізації сервісно-орієнтованих платформ та мереж присвячені дослідження Ложковського А. Г., Лемешко О. В, Голдштейна Б. С., Стрихалюка Б. М, Лісового І. П., Роліка О. І., Yu C. Z. Eli Weintraub, Yuval Cohen, Christine Strauss. Аспекти управління ресурсами у мережевих системах та платформах досліджували Воробієнко П. П., Каптур В. А., Додонов А. Г., Xiaohu Ge, Jo M., Aramudhan M., Schmidt H., Walter F. Witt, Bloomers J. та інші.

Зазначені вище науковці внесли значний здобуток у питання розвитку та розбудови сервісних платформ в інфокомунікаційних мережах, наукова та практична цінність їх розробок має велике значення, але здебільшого об'єкт дослідження (сервісна платформа) аналізується лише з позицій певного погляду чи одного етапу життєвого циклу (проекування, управління, експлуатації тощо).

Унаслідок вище зазначеного виникає актуальна науково-прикладна задача – розробка моделей та методу багатоетапної оптимізації сервісних платформ для їх адаптації на різних етапах їх життєвого циклу.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тематика дисертаційної роботи безпосередньо пов'язана з положеннями «Стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні» та рекомендаціями щодо «Реформ галузі інформаційно-комунікаційних технологій та розвитку інформаційного простору України». Дисертаційні дослідження виконувались у відповідності до наукового напрямку кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних систем у межах ініціативної науково-дослідної роботи на тему «Математичні методи дослідження

телекомунікаційних систем на базі тензорного аналізу, тензорних сплайнів, сплайн та вейвлет-апроксимації» (2021 р. № ДР 0120U105545).

**Метою дисертаційної роботи** є підвищення ефективності сучасних сервісних платформ та розробка методу багатоетапної оптимізації для ефективного розв'язання задач з проєктування/реконфігурації/реконструкції сервісних платформ в інфокомунікаційних мережах.

**Основними задачами дослідження визначено:**

- аналіз стану та розвитку сучасних сервісних платформ в інфокомунікаційних мережах;
- постановка і формалізація задачі побудови адаптивних моделей багатоетапної оптимізації сервісної платформи для різних етапів життєвого циклу;
- удосконалення моделей морфологічного та функціонального опису сервісних платформ;
- розробка методу вирішення задачі багатоетапної оптимізації сервісних платформ у впродовж їх життєвого циклу;
- аналіз ефективності пропонованого методу за результатами вирішення задач оптимізації сервісної платформи надання послуги IPTV та оптимізації сервісної платформи у мережі телемедицини.

**Об'єктом дослідження** є проєктування, реконфігурація та реконструкція сервісних платформ в інфокомунікаційних мережах.

**Предмет дослідження:** моделі та метод багатоетапної оптимізації проєктування, реконфігурації та реконструкції сервісних платформ в інфокомунікаційних мережах.

**Методи дослідження.** В якості методологічного базису використовувались методологія системного підходу. Також у роботі знайшли своє застосування теорія систем та мереж масового обслуговування, теорія графів, аналітичні, імітаційні методи дослідження.

**Наукова новизна** роботи полягає у тому, що:

1. Вперше запропоновано метод багатоетапної оптимізації сервісних платформ в інфокомунікаційних мережах. На відміну від наявних, пропонований метод враховує властивостей самого процесу оптимізації (нестационарність та динамічність зовнішнього середовища, в якому функціонує сервісна платформа), що дозволяє адаптувати СП під потреби поточної задачі або етапу життєвого циклу.

2. Вперше запропоновано принцип адаптаційної достатності, який визначає, що динамічні зміни зовнішнього середовища не дозволяють остаточно сформувати стаціонарну множину вхідних параметрів  $S$ . Для рішення задачі з багатоетапної оптимізації сервісних платформ для визначеної цільової функції пропонується використовувати достатній (не надлишковий) рівень деталізації вихідних параметрів, який визначається на підставі формалізованого аналізу умов і цілей проєктування/реконфігурації/реконструкції сервісної платформи, що дозволяє знайти таке рішення задачі, при якому обрана цільова функція досягає свого екстремуму.

3. Набула подальшого розвитку модель морфологічного опису сервісних платформ, в яку введено принцип стратифікації об'єкта, що дає змогу підвищити точність структурно-параметричного опису сервісної платформи в контексті розв'язання задачі її багатоетапної оптимізації.

4. Набуло подальшого розвитку використання природних методів для багатоетапної оптимізації сервісних платформ упродовж їх життєвого циклу. Запропоновано метод рішення задачі, що ґрунтується на базі модернізованого генетичного алгоритму, який для пошуку рішення використовує комбінацію турнірного відбору з елітизмом та випадковою мутацією, що дозволяє повністю змодельовати адаптивність до зовнішнього середовища, в яке занурено сервісну платформу.

**Практичне значення одержаних результатів:**

1. Запропоноване в роботі уточнення терміну «сервісна платформа» усуває заплутаність у наявній термінології у сфері сервісних платформ.

2. Розроблено моделі багатоетапної оптимізації сервісних платформ, які надають змогу реалізувати неперервний процес оптимізації сервісних платформ упродовж усього їхнього життєвого циклу.

3. Розроблений на базі генетичного алгоритму метод дозволяє знаходити більш точне рішення в порівнянні з наявними методами. Більшість відомих методів знаходять лише локальний оптимум, який не є рішенням задачі, тоді як витрати часу на пошук рішення співвідносяться з витратами часу на пошук рішення на базі запропонованого методу.

4. Доведено, що застосування запропонованого методу на базі модифікованого генетичного алгоритму дозволяє на 7% скоротити час пошуку оптимального рішення задачі багатоетапної оптимізації сервісних платформ у порівнянні з традиційними методами.

5. Розроблений метод можна використовувати як базу для вирішення системних задач з багатоетапної оптимізації сервісних платформ в інфокомунікаціях в умовах нестаціонарності та динамічних змін зовнішнього середовища, в яке занурена сервісна платформа.

Наукові та практичні результати проведених досліджень використані в навчальному процесі кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних систем Державного університету інтелектуальних технологій і зв'язку.

Основні результати дисертаційної роботи використано і впроваджено в ПАТ "Укртелеком" під час реконструкції сервісної платформи надання послуг Triple Play, ДП «ОНДІЗ» в робочих процесах та для підвищення кваліфікації співробітників, у навчально-науковому процесі ДУІТЗ, що підтверджено актами впровадження.

**Особистий внесок здобувача.** Усі результати наукових, теоретичних і практичних досліджень, які викладені в дисертації, автор одержав особисто. У працях, опублікованих у співавторстві, дисертантові належать: у монографії [1] – адаптивна модель багатоетапної оптимізації сервісної платформи впродовж усіх етапів її життєвого циклу, у монографії [2] – алгоритм визначення вихідних даних для проектування сервісної платформи. У роботі [3] – прогноз щодо розвитку інфокомунікаційних послуг, [4, 5, 6, 18] – розробка та дослідження моделі сервісної платформи надання послуги IPTV, метод рішення цієї задачі; [8, 14] – метод класифікації складових компонентів сервісних платформ (таксономія класифікаційної задачі сервісних платформ в інфокомунікаційному просторі); [10, 15, 16, 21, 22] – загальний аналіз проблематики створення сервісних платформ телемедицини, формалізація узагальненої структури сервісної платформи телемедицини, класифікаційна модель складових компонентів сервісної платформи телемедицини,

генетичний алгоритм рішення задачі синтезу оптимальної топологічної структури сервісної платформи телемедицини.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати наукових досліджень доповідалися та обговорювалися на всеукраїнських та міжнародних науково-технічних конференціях: Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій, комп'ютерної інженерії» (м. Львів-Славське 2014 рр.); 5-та, 8-ма, 10-та Міжнародні науково-практичні конференції «Інфокомунікації – сучасність та майбутнє» (2015, 2018, 2020 рр., м. Одеса); IEEE International Scientific-Practical Conference «Problems of Infocommunications. Science and Technology» (PIC S&T-2018, PIC S&T-2020) (м. Харків, 2018, 2020 рр.); IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS, 2023; 11th та 12th International Conference on Applied Innovations in IT (ICAИТ 2023, ICAИТ 2024). Також результати роботи у повному обсязі обговорені на засіданнях та семінарах кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних систем.

**Публікації.** За результатами досліджень, які викладені в дисертаційній роботі, опубліковано 22 наукових праці, зокрема розділи в 2 монографіях, що індексовані науково-метричними базами Scopus та WebOfScience, 8 статей в наукових фахових виданнях згідно з переліком МОН України, та 12 тез доповідей, з яких 6 індексовані науково-метричними базами Scopus та WebOfScience. Отримано одне свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір.

**Структура та обсяг роботи.** Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та 3 додатків. Загальний обсяг роботи становить 165 сторінок друкарського тексту, із них 7 сторінок вступу, 124 сторінки основного тексту, 56 рисунків, 7 таблиць, список використаних джерел зі 121 найменування, 3 додатки на 8 сторінках.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

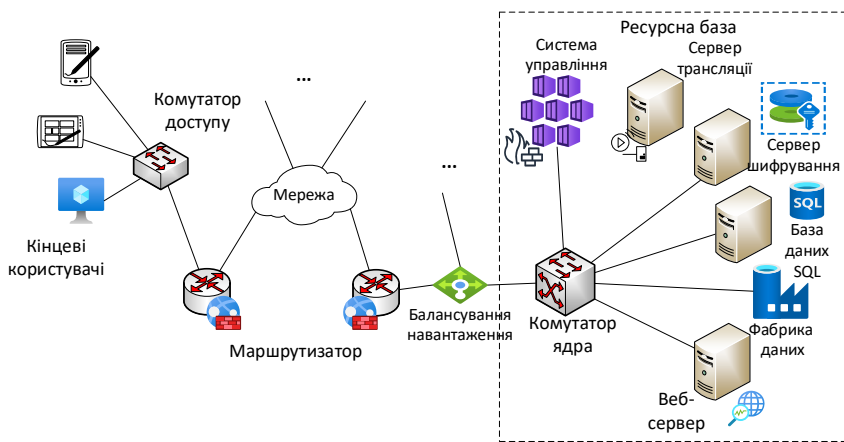
У **вступі** розкрито сутність і розглянуто стан науково-технічної задачі, обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету, об'єкт і предмет дослідження, викладено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, наведено відомості про публікацію та апробацію цих результатів, зазначено особистий внесок здобувача щодо робіт, виконаних у співавторстві.

У **першому розділі** «Аналіз стану і перспектив розвитку сервісних платформ в інфокомунікаційних мережах» проведено аналіз наявних наукових досліджень за темою дисертації для визначення сучасних тенденцій та перспектив розвитку СП в інфокомунікаціях й аналізу параметрів та їх характеристик.

Виходячи з тієї аксіоми, що сервісна платформа (СП) на базі інформаційно-комунікаційної інфраструктури є основою надання мережевих послуг, потрібно чітко розуміти, що саме визначає термін СП. За результатами аналізу наукових публікацій та досліджень, можна констатувати, що єдиного визначення та тлумачення терміна «сервісна платформа» не існує. У різних джерелах, різними науковцями надаються різні визначення СП, усі вони в той чи іншій мірі відображають суть поняття СП, але разом з цим вносять деяку заплутаність. З урахуванням цього, у роботі **запропоновано уточнення терміна «сервісна платформа», а саме: *сервісна платформа – це сукупність ресурсів і технологій інфокомунікацій, які***

використовуються у виробництві та наданні послуг (послуг) з метою задоволення вимог користувача.

З огляду на уточнення визначення, у СП можна відокремити три базові складові – сукупність ресурсів, система управління та споживачі сервісів (рис. 1).



Аналізуючи існуючі наукові дослідження у сфері СП, можна констатувати, що значна кількість досліджень зосереджена на вирішенні задач проектування СП.

Це обґрунтовується тим, що більшість дослідників та науковців вважають, що даний етап

Рис. 1 – Структурна схема сервісної платформи

життєвого циклу (ЖЦ) СП є найбільш фундаментальним, через те, що саме на цьому етапі формується структура СП, яка в подальшому буде виконувати та вирішувати усі задачі, які покладаються на проєктовану СП. Однак в цьому випадку, об'єкт дослідження (сервісну платформу) розглядають лише з позицій однієї, певної точки зору чи фази життєвого циклу (проєктування, управління, експлуатація, тощо), а існуючі моделі та методи надають можливість проводити синтез та аналіз лише «базової» структури СП і лише на окремих стадіях її життєвого циклу. Динамічне ж дослідження СП у продовж усіх стадій ЖЦ, чи з різних точок зору у комплексі, такі моделі фактично не дозволяють проводити. Життєвий цикл СП - це безперервний послідовний процес, що складається з декількох ітерацій, починаючи з моменту прийняття рішення про її створення і закінчуючи моментом її повної реконструкції або утилізації. Формалізація опису цього процесу вимагає врахування всіх можливих змін характеристик стану об'єкта на кожній ітерації, а тому модель життєвого циклу сервісної платформи повинна бути адаптивною, що дозволить проводити багатоетапну оптимізацію СП.

Таким чином, на основі проведених досліджень актуалізується проблематика багатоетапної оптимізації СП під вимоги сучасних послуг, що динамічно змінюються, а це є не тривіальною задачею й потребує розробки специфічних оптимізаційних моделей, здатних відображати умови формування і функціонування СП, що змінюються у часі.

У другому розділі «Побудова моделей багатоетапної оптимізації сервісної платформи впродовж життєвого циклу» визначено, що СП являють собою інфраструктуру для розробки, розгортання та управління різноманітними застосунками та послугами в середовищі, що постійно змінюється, а це вимагає відповідної адаптації для забезпечення їхньої ефективності та надійності протягом ЖЦ. Як наслідок, сервісна платформа є об'єктом адаптації. Адаптацію в цьому випадку визначено як процес цілеспрямованої зміни параметрів та структури СП, що базується на послідовному визначенні критеріїв її функціонування та шляхів досягнення цих критеріїв. Побудова адаптивної моделі багатоетапної оптимізації СП

впродовж ЖЦ ґрунтується на методології системного аналізу, що передбачає побудову моделей її морфологічного і функціонального опису.

Розробка моделі морфологічного опису СП виконано на основі стратифікованого підходу Месаровича. З точки зору системного підходу сервісну платформу можна формалізувати у наступним загальному вигляді:

$$SP: F(X) \rightarrow Y. \quad (1)$$

Сервісна платформа SP виконує функціональне перетворення множини входів  $X$  у множини виходів  $Y$ , при цьому стратифікація системи можлива, якщо множини входів  $X$  та виходів  $Y$  можуть бути представлені у вигляді декартового множення (добутку)  $\times$ , тобто деякий вхід  $X_i$  та вихід  $Y$  утворюють два незалежних базиси:

$$\begin{aligned} X &= (X_1 \times X_i \dots X_n); \\ Y &= (Y_1 \times Y_i \dots Y_m); \end{aligned} \quad (2)$$

де  $n$  – кількість входів, а  $m$  – кількість виходів. Тоді сервісна платформа SP може бути представлена у вигляді підсистем  $SPSi$  наступними виразами:

$$\begin{aligned} SPS_1 &: X_1 \times U_1 \times Y_1; \\ SPS_i &: X_i \times D_i \times U_i \times Y_i; \\ SPS_n &: X_n \times D_n \times Y_n; \\ n &= \min(n, m), \end{aligned} \quad (3)$$

де  $D$ ,  $U$  – відповідно низхідні (downstream) та висхідні (upstream) потоки, що забезпечують зв'язок між стратами.

Множина підсистем  $SPSi$ ,  $1 \leq i \leq n$ , є стратифікацією системи SP за умови, що існує два сімейства відображень  $h_i$  та  $c_i$ :

$$\begin{aligned} h_i &: Y_i \rightarrow U_{i+1}; \\ c_i &: Y_i \rightarrow D_{i-1}; \\ 1 &\leq i \leq n. \end{aligned} \quad (4)$$

такі, що:

$$\begin{aligned} y_n &= SPS_n(x_n, h_{n-1}(y_{n-1})), \\ y_i &= SPS_i(x_i, c_{i+1}(y_{i+1}), h_{i-1}(y_{i-1})), \\ y_1 &= SPS_1(x_1, c_2(y_2)), \\ \forall x \in X, y &= SPS(x), 1 \leq i \leq n. \end{aligned} \quad (5)$$

Відображення  $h_i$  та  $c_i$  відповідно інформаційна та розподільча функції  $i$ -ої страти, які пов'язують страти між собою.

Загальна модель морфологічного опису СП в вигляді множини страт наведена на рис. 2.

У якості основних страт які доцільно виділяти, визначені: ресурсна страта, технологічна страта, страта інформаційної безпеки та економічна страта. Основною проблемою дослідження архітектури сервісної платформи, як складної системи, є необхідність врахування множини її елементів, а також взаємозв'язків між ними, їх властивостей, змін характеристик. Проблема ускладнюється необхідністю врахування впливу змін зовнішнього середовища та вимог до обслуговування клієнтів у часі. Для створення моделей морфологічного опису СП достатньо розглянути їх на рівні першої та другої страт.



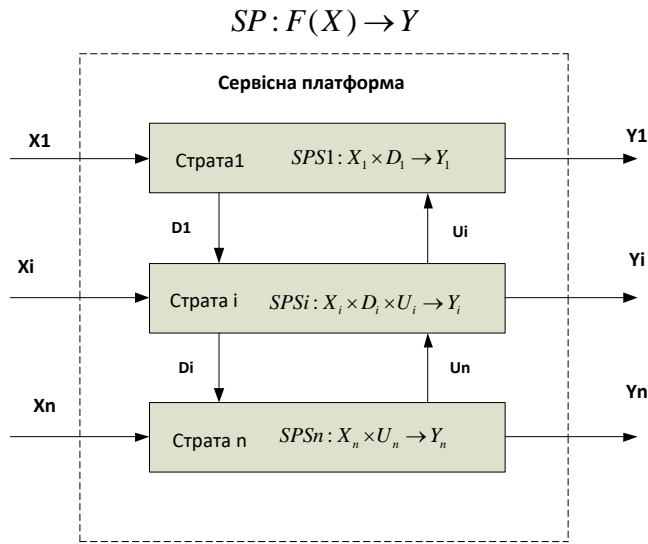


Рис. 2 – Загальна модель морфологічного опису сервісної платформи

графу  $G^*(N_i^*, E^*)$ , що безпосередньо відображає модель морфологічного опису СП, тобто склад її елементів та зв'язки між ними (рис. 3). Множині вершин  $\{N_i^*\}$  графу  $G^*(N_i^*, E^*)$  відповідають елементи страт.

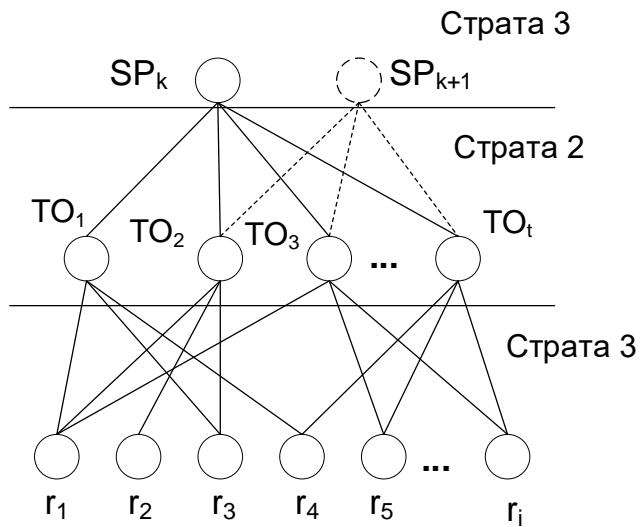


Рис. 3 – Модель морфологічного опису СП у вигляді багат шарового графа

У цьому випадку вершини множини  $N_3^*$  представлені однією вершиною, яка відображає саму платформу  $SP^*$ , але їх може бути декілька. Множина ребер  $E^*$ -графу відображає множину зав'язків між його вершинами, тобто елементами платформи  $SP^*$ . Елементи страт, що описують сервісну платформу з точки зору показників фінансової, інформаційної безпеки та якості обслуговування, можуть бути використані для визначення відповідних вагових характеристик вершин  $G^*$ .

Наступним кроком є створення моделі функціонального опису сервісної платформи. Побудова моделі функціонального опису передбачає створення ієрархії епістемологічних рівнів, яка формує таксономічний каркас будь-якої складної системи. Рациональним способом формування функціонального опису об'єкта

Це завдання можна формалізувати в термінах теорії графів наступним чином – технологічний процес можна представити у вигляді орієнтованого графа  $G(N, E)$ , де множині вершин  $N$  відповідає множина технологічних операцій  $\{TO_i\}$ , а дуги  $E$  відображають переходи від однієї технологічної операції до іншої. Відповідно до кожної технологічної операції на першій страті визначаємо склад ресурсів, задіяних у її виконанні, який можна представити у вигляді ієрархічного неорієнтованого

На першій страті ієрархії множині  $N_1^*$ , з потужністю  $k$ , відповідають елементи страти, яка розглядає СП з точки зору ресурсної бази  $\{r_i\}, i = \overline{1, k}$ .

На другій страті ієрархії множині  $N_2^*$ , потужності  $m$ , відповідають елементи страти, яка розглядає СП з технологічної точки зору  $\{TO_t\}, t = \overline{1, m}$ .

На третій страті ієрархії множині  $N_3^*$  відповідають  $\{SP_i\}$  сервісні платформи, які надають окремі послуги.

дослідження є застосування ієрархії функціональних описів, в якій елементи вищого рівня будуть залежати від узагальнених та факторних змінних нижчого рівня.

Всі елементи функціонального опису СП, як складної системи, можна розділити на три групи: цільові функції; критеріально-параметричні функції; базові змінні.

На нульовому епістемологічному рівні система визначається набором змінних  $\bar{C} = (C_1, C_2, \dots, C_k)$ , які присвоюються характеристикам елементів СП, їх властивостям або можливим станам.

$$\bar{C}: \begin{cases} c_{11}, c_{12}, \dots, c_{1n} \\ c_{21}, c_{22}, \dots, c_{2n} \\ \dots \\ c_{k1}, c_{k2}, \dots, c_{kn} \end{cases}, \quad (6)$$

де  $c_{i1}, c_{i2}, \dots, c_{in}$ ,  $n \in N$  - змінні, що описують  $i$ -ту вершину першого шару.

На першому епістемологічному рівні система доповнюється значеннями, яких можуть набувати змінні. Залежно від типу завдання, яке вирішується на відповідному етапі ЖЦ СП, ці значення можуть бути отримані шляхом вимірювання, аналізу статистики або визначення за бажанням.

На другому епістемологічному рівні на набір значень першого рівня накладаються обмеження:

$$\varphi(C) \leq 0. \quad (7)$$

На третьому епістемологічному рівні відображається опис СП, що базується на взаємопов'язаних структурних елементах, які пов'язані між собою деякими спільними змінними – визначаються критерії  $\bar{Y} = (Y_1, Y_2, \dots, Y_p)$  та їх функціональні залежності від змінних  $C$ :

$$\bar{Y}: \begin{cases} f: C_1 \rightarrow Y_1 \\ f: C_2 \rightarrow Y_2 \\ \dots \\ f: C_p \rightarrow Y_p \end{cases}, \quad (8)$$

На четвертому епістемологічному рівні визначаються обмеження, які є доцільними для параметрів критерію залежно від етапу життєвого циклу СП:

$$\varphi_Y(C) \leq 0, \quad (9)$$

На п'ятому епістемологічному рівні формуються цільові функції, які відображають бажаний рівень продуктивності СП, наприклад, на відповідному етапі її ЖЦ:

$$Y = F(\bar{Y}) \rightarrow \text{extr}. \quad (10)$$

Модель функціонального опису СП надає можливість формалізувати задачі її багатоетапної оптимізації. На першому етапі ЖЦ це відповідає побудові формалізованої математичної моделі оптимального проектування, яка передбачає пошук оптимальної структури та значень параметрів цільового об'єкта. Однак, на етапі технічної експлуатації СП під впливом непередбачуваних факторів зовнішнього середовища (ЗС) та самого об'єкта підтримка оптимального стану об'єкта неможлива без впливу системи управління (СУ). Вплив СУ в даному випадку передбачає використання матриць коефіцієнтів, які визначають вимоги та характер зміни параметрів об'єкта. Зазначені матриці коефіцієнтів повинні формуватися СУ на основі

даних, отриманих від системи моніторингу стану об'єкта. Врахування цього ефекту у формалізованому математичному описі оптимального стану об'єкта передбачає забезпечення можливості його параметричної та структурної багатоетапної оптимізації протягом усього ЖЦ. При цьому підтримання оптимального стану за рахунок реконфігурації ресурсів, що в нашому випадку відповідає параметричній оптимізації, буде співвідноситися з етапом технічної експлуатації, а необхідність одночасної зміни структури об'єкта - з етапом його реконструкції.

**Запропоновану модель багатоетапної оптимізації сервісної платформи, як об'єкта адаптації, в межах конкретного етапу її життєвого циклу  $T$ , будемо називати адаптивною моделлю.** На етапі проектування оптимальний стан об'єкта досягається шляхом знаходження значень основних змінних, які задовольняють заданим обмеженням і забезпечують екстремум цільової функції, тобто:

$$\begin{aligned} Y &= F(\bar{Y}) \rightarrow \text{extr} \\ F(X, Y) \cdot \|a_{ij}\| \\ \varphi_Y(X) &\leq 0 \\ \varphi_X(X) &\leq 0, \end{aligned} \quad (11)$$

де  $X$  - набір базових змінних.

Оператор  $F$  визначає структуру  $ST$  та відповідні параметри  $C$  об'єкта, тобто,  $F = \langle ST, C \rangle$ ,  $\|a_{ij}\|$  - матричний коефіцієнт, де:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x_{ij} \text{ враховується} \\ 0, & \text{в протилежному випадку} \end{cases} \quad (12)$$

$i = 1, 2, \dots, k; j = 1, 2, \dots, m.$

На етапі реконфігурації об'єкт проходить адаптацію – враховується вплив системи управління  $\bar{U} = U(t) (0 \leq t \leq T)$ , в результаті чого відбувається зміна параметрів об'єкта:

$$\begin{aligned} Y &= F(\bar{Y}) \Rightarrow \psi(X \cdot U(t)) \rightarrow \text{extr} \\ F(X \cdot U(t), Y) \cdot \|a_{ij}\| \\ \varphi_Y(X \cdot U(t)) &\leq 0 \\ \varphi_X(X \cdot U(t)) &\leq 0 \\ 0 &\leq t \leq T. \end{aligned} \quad (13)$$

На етапі реконструкції вирішуються задачі параметричної та структурної оптимізації, тобто під впливом  $U(t)$  формується нова структура і визначаються відповідні параметри об'єкта.

$$\begin{aligned} Y &= F(\bar{Y}) \Rightarrow \psi(X \cdot U(t)) \rightarrow \text{extr} \\ \Omega(X \cdot U(t), Y) \cdot \|a_{ij}\| \\ \varphi_Y(X \cdot U(t)) &\leq 0 \\ \varphi_X(X \cdot U(t)) &\leq 0 \\ 0 &\leq t \leq T, \end{aligned} \quad (14)$$

де  $\Omega$  - оператор визначає структуру  $ST(t)$  та відповідні параметри  $C(t)$  об'єкта, тобто  $\Omega = \langle ST, C, U \rangle$ .

**Третій розділ «Розробка методу вирішення задачі багатоетапної оптимізації сервісної платформи» присвячено розробці методу рішення формалізованих у другому розділі задач багатоетапної оптимізації.**

СП, як складний об'єкт, який функціонує в умовах ЗС, що динамічно змінюється, для досягнення своїх оптимальних характеристик потребує адаптації. В цьому випадку, для адаптації складно визначити чіткі критерії оптимізації, це залежить від характеру динамічності змін ЗС та впливу СУ. Відповідно до цього, процес адаптації доцільно проводитись за декількома критеріями одночасно, вибір яких визначається як поточним станом ЗС, так і внутрішніми потребами самої СП.

Основний етап ЖЦ СП, на якому закладається основа успішного вирішення більшості завдань, що покладаються на синтезовану СП, яка повинна мінімізувати подальші витрати технологічних засобів управління та обслуговуючого персоналу на введення нових мережевих потужностей та їх раціонального використання – це проектування. Проблема проектування СП охоплює цілий комплекс задач структурно-топологічного і функціонального синтезу ресурсної складової СП, СУ, системи інформаційної безпеки тощо. Складність проблеми, пов'язаної з проектуванням СП, обумовлена необхідністю врахування та аналізу великої кількості факторів, що впливають на ефективність її вирішення, в умовах невизначеності законів функціонування ЗС.

На етапі проектування, на базі моделі самого об'єкта  $F$  та моделі статичних властивостей  $p(X)$  середовища з урахуванням того, що стан середовища  $X$  впливає на стан об'єкта  $Y$ , і стан об'єкту  $Y$  може бути змінений під впливом додаткових зовнішніх факторів  $U: U = (u_1, \dots, u_q)$  потрібно вирішити задачу оптимізації типу:

$$Q(U) = \int q(X, Y) p(X) dX, \quad (15)$$

з урахуванням того, що  $Y = F(X, U)$ , маємо:

$$Q(U) = \int q(X, F(X, U)) p(X) dX, \quad (16)$$

де  $q(X, Y)$  – миттєва оцінка ефективності об'єкта при поточних станах об'єкта  $Y$  та середовища  $X$ .

В реальних умовах, інформація про моделі середовища і об'єкту відсутня, а отже, задача 16 в умовах зміни параметрів об'єкта  $U$  повинна вирішуватись лише на базі спостережень щодо зміни станів  $X$  та  $Y$ . В розрізі вище сказаного, можна сказати, що адаптація на етапі проектування повинна бути спрямована на мінімізацію критеріїв оптимізації. І в цьому контексті застосовуються терміни не оптимальний проект, а «достатній», «кращій» або «квазіоптимальний». Такий підхід дозволяє використовувати евристичні методи рішення задач проектування і застосовувати адаптацію. Для рішення зазначеної проблеми пропонується принцип **адаптаційної достатності**, який можна сформулювати у такий спосіб: *«динамічні зміни зовнішнього середовища не дозволяють остаточно сформувати стаціонарну множину вхідних параметрів  $S$ , тому для рішення задачі з багатоетапної оптимізації СП припустимо, що для визначеної цільової функції існує достатній (не надлишковий) рівень деталізації вихідних параметрів, який може бути визначений на підставі формалізованого аналізу умов і цілей створення СП, що дозволяє знайти таке рішення задачі, при якому обрана цільова функція досягає свого екстремуму».*

Слід відзначити, що саме неможливість знайти оптимальне рішення щодо структури та характеристик СП на етапі проектування, в умовах невизначеності та динамічних змін ЗС й породжує необхідність адаптації на інших етапах ЖЦ СП.

Якщо при застосуванні моделі морфологічного опису СП була визначена деяка множина вхідних параметрів  $X$  і сформовано вектор цілій  $Y$ , то цільова функція, для формалізованої у другому розділі моделі (10), буде мати наступний вигляд:

$$\Upsilon = \frac{X_1}{X_1^0} \cdot w_1 + \frac{X_2}{X_2^0} \cdot w_2 + \dots + \frac{X_i}{X_i^0} \cdot w_i, i = 1, \dots, n.$$

Відповідно до принципу адаптивної достатності введемо вектор  $A$ , елементи якого  $a_i$  – бінарні змінні:

$$a_i = \begin{cases} 1 & \text{якщо вхідний параметр } s_i \text{ враховується} \\ 0 & \text{в протилежному випадку} \end{cases} \quad (17)$$

$i = 1, 2, \dots, k$

який показує, які вхідні параметри враховуються при вирішенні задачі оптимального проектування. З урахуванням цього коефіцієнту, цільова функція приймає вигляд:

$$\Upsilon = \frac{X_1}{X_1^0} \cdot w_1 \cdot a_1 + \frac{X_2}{X_2^0} \cdot w_2 \cdot a_2 + \dots + \frac{X_i}{X_i^0} \cdot w_i \cdot a_i, \quad (18)$$

або

$$\Upsilon = \sum_i \frac{X_i}{X_i^0} \cdot w_i \cdot a_i \quad (19)$$

Питання реконфігурації СП виникає на стадії експлуатації. Необхідність реконфігурації обумовлена тим, що на етапі проектування СП, зазвичай, знаходять «квазіоптимальне» рішення. Реконфігурація передбачає гнучке реагування на зміни умов функціонування СП шляхом адаптивного управління функціональними параметрами та характеристиками СП в умовах апріорної невизначеності її стану, тобто йдеться про параметричну адаптацію синтезованої структури СП. Задача реконфігурації (параметричної адаптації) виникає через необхідність оптимізації параметрів СП, що є результатом експлуатації СП в умовах її тісної взаємодії з ЗС.

Задача реконструкції, як і задача реконфігурації, виникає на етапі експлуатації, коли СУ визначає відхилення об'єкта від оптимальної траєкторії функціонування/експлуатації. Але структурна адаптація виникає тоді, коли відновити оптимальну траєкторію експлуатації об'єкта лише за рахунок зміни деяких його параметрів не можливо. Рішення задачі реконструкції має на меті таку зміну структури об'єкта, щоб повернути його на оптимальну траєкторію експлуатації. Як і у випадку з реконфігурацією, рішення щодо необхідності адаптації структури ухвалюється на базі аналізу вектору управління, який генерує СУ. Задачі реконструкції та реконфігурації описуються моделями (13) та (14).

Формалізовані задачі є поліноміальними задачами класу NP. Здебільшого, задачі оптимізації в інфокомунікаціях мають не лінійний характер (хоча в деяких випадках вони можуть бути зведені до лінійної форми), і для їх рішення використовують методи нелінійної оптимізації. Відомі методи не завжди дозволяють знайти глобальний оптимум, це можливо лише у тому випадку коли проблема володіє властивістю опуклості, а формалізована задача її не має. Для рішення формалізованих задач пропонується метод заснований на базі модифікованого генетичного алгоритму (ГА). Наявність таких операцій як відбір, схрещування та мутація дозволяють ГА знаходити оптимальні рішення у адаптивних умовах та уникати пастки «локального екстремуму».

Для рішення формалізованих задач, в роботі розроблено модифікований генетичний алгоритм, який використовує трираундовий турнірний відбір, елітизм та випадкову схему мутації. Така компоновка операцій ГА пришвидшує його роботу. Блок-схема запропонованого рішення на базі ГА наведено на рис. 4.

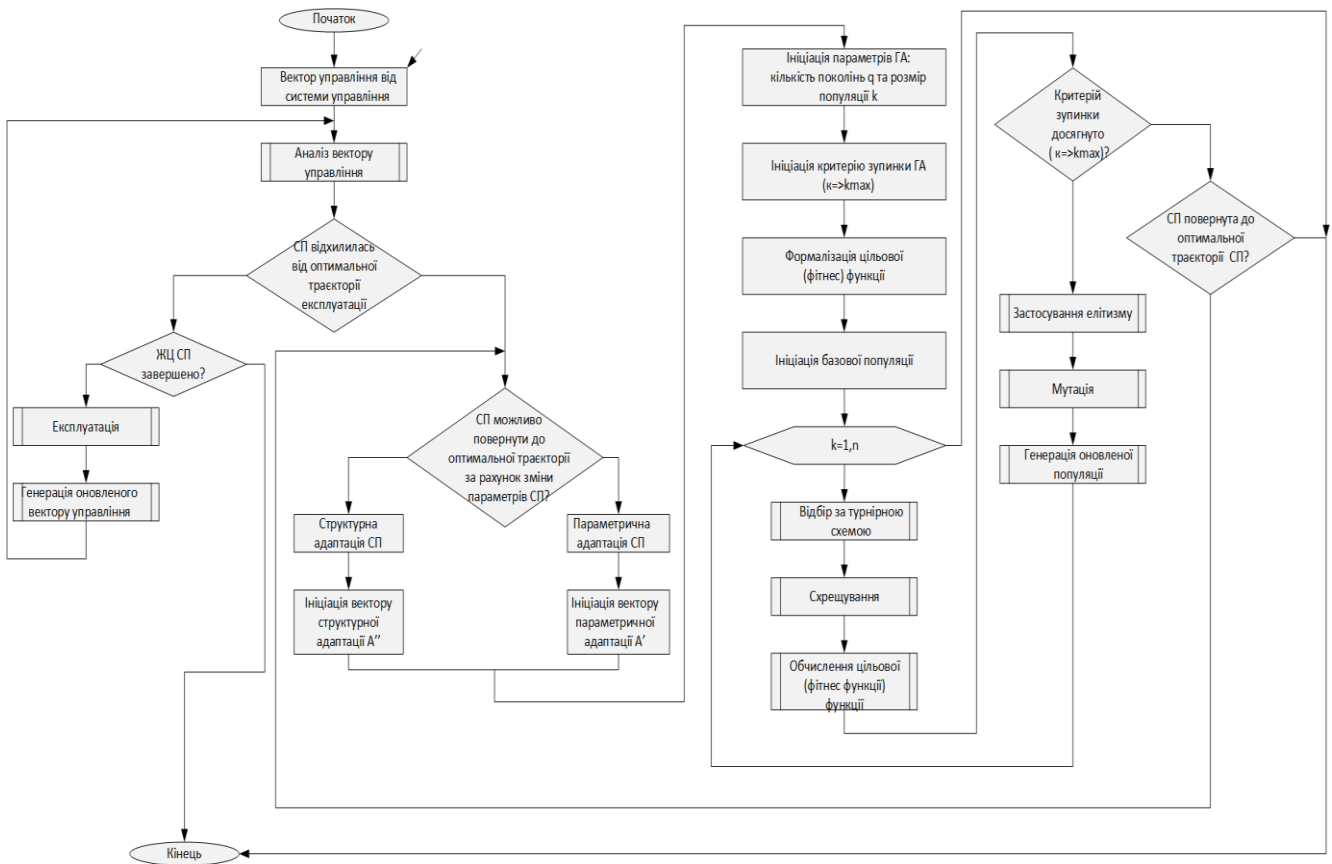


Рис. 4 – Алгоритм запропонованого методу оптимізації

У четвертому розділі «Постановка та вирішення задач оптимізації сервісних платформ з використанням адаптаційних моделей і генетичних алгоритмів» проведена верифікація ефективності запропонованих моделей та методу багатоетапної оптимізації СП для вирішення актуальних прикладних задач оптимізації СП надання відеосервісів (IPTV) та оптимізації СП телемедицини.

Задача оптимального проектування СП IPTV формалізується наступним чином: необхідно забезпечує надійну та якісну передачу відеоконтенту в обсязі  $L_k$  для обслуговування  $q$  абонентів, з інтенсивністю  $\lambda$  запитів на обслуговування та середнім обсягом запиту  $L_r$ . Рівень витрат на створення та експлуатацію сервісної платформи не повинен перевищувати допустимого значення  $C_{max}$ .

Відповідно до моделі морфологічного опису СП IPTV, в якості внутрішніх змінних визначено набір технічних  $TTH$ , набір експлуатаційних  $TTE$  та набір вартісних  $C$  характеристик, а саме серверів та каналів мережі надання послуги IPTV.

Технічні характеристики сервера представлені у вигляді:

$$TTH^{Ser} = \{ \langle CPU^{Ser}(i), RAM^{Ser}(i) \rangle \} = \{ \langle CPU_1^{Ser}, RAM_1^{Ser} \rangle, \langle CPU_2^{Ser}, RAM_2^{Ser} \rangle, \dots, \langle CPU_n^{Ser}, RAM_n^{Ser} \rangle \}, i = \overline{1, n}. \quad (19)$$

Експлуатаційні характеристики сервера:

$$TTE^{Ser} = \{ \langle MTBF^{Ser}(i), MTTR^{Ser}(i) \rangle \} = \{ \langle MTBF_1^{Ser}, MTTR_1^{Ser} \rangle, \langle MTBF_2^{Ser}, MTTR_2^{Ser} \rangle, \dots, \langle MTBF_n^{Ser}, MTTR_n^{Ser} \rangle \}, i = \overline{1, n}. \quad (20)$$

Набір вартісних характеристик  $n$  серверів можна представити у вигляді:

$$C^{Ser} = \{ c^{Ser}(i) \}, i = \overline{1, n}. \quad (21)$$

Компоненти мережі представлені набором технологічних характеристик каналів  $TTH^{Ch}$ :

$$\bar{V} = \{v(i)\}, i = \overline{1, k}. \quad (22)$$

Експлуатаційні характеристики каналів мережі  $TTE^{Ch}$  представлені середнім часом напрацювання на відмову ( $MTBF$ ) та середнім часом відновлення ( $MTTR$ ):

$$TTE^{Ch} = \{ \langle MTBF^{Ch}(i), MTTR^{Ch}(i) \rangle \} = \{ \langle MTBF_1^{Ch}, MTTR_1^{Ch} \rangle, \langle MTBF_2^{Ch}, MTTR_2^{Ch} \rangle, \dots, \langle MTBF_k^{Ch}, MTTR_k^{Ch} \rangle \}, i = \overline{1, k}. \quad (23)$$

Сукупність вартісних характеристик каналів мережі можна представити у вигляді:

$$C^{Ch} = \{c^{Ch}(i)\}, i = \overline{1, k}. \quad (24)$$

Вектор  $\bar{X}$  внутрішніх змінних системи :

$$\begin{aligned} \bar{X} &= [\bar{X}^m, \{\bar{X}_i^{Ser}\}, \{\bar{X}_j^{Ch}\}] \\ \bar{X}^m &= \{x_z\} = \{L_k, q, \lambda, L_r\}, z = \overline{1, 4}; \\ \bar{X}_i^{Ser} &= \{x_{ir}\}, i = \overline{1, n}; r = \overline{1, m} \\ \bar{X}_j^{Ch} &= \{x_{jp}\}, j = \overline{1, k}; p = \overline{1, l} \end{aligned} \quad (25)$$

де  $z$  - кількість вхідних даних задачі;  $m$  - кількість змінних, що описують всю сукупність характеристик  $n$  серверів, задіяних в організації сервісної платформи;  $l$  - кількість змінних, що описують всю сукупність характеристик  $k$  каналів мережі надання послуг IPTV.

Тобто:

$$\bar{X} = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_h), \quad (26)$$

де  $h$  - кількість усіх внутрішніх змінних задачі, тобто  $h = z + n \cdot m + k \cdot l$ .

На внутрішні змінні накладаються наступні обмеження:

$$x_i \geq 0, \forall x_i \in \bar{X}, i = \overline{1, n}. \quad (27)$$

В якості критеріальних параметрів, що характеризують зовнішні змінні задачі, доцільно розглядати такі характеристики як: середній час відгуку  $T^{avr}$  платформи на запити користувачів, що в нашому випадку характеризує якість передачі; коефіцієнт готовності  $K$  сервісної платформи та приведені витрати  $G$ :

$$Y_1 = T^{avr}, Y_2 = K, Y_3 = G. \quad (28)$$

В умовах задачі на зовнішні параметри можуть бути накладені наступні обмеження:

$$\begin{aligned} Y_1 &= T^{avr} \leq T_{\max} \\ Y_2 &= K = K_{in} \\ Y_3 &= G \leq G_{\max} \\ Y_i &> 0, \forall Y_i \in Y, i = \overline{1, 3}, \end{aligned} \quad (29)$$

де  $T_{\max} = 400$  мс - максимально можливий час відгуку платформи на запити користувачів, визначений рекомендаціями МСЕ;  $K_{in}$  - необхідний рівень доступності;  $G_{\max}$  - максимально допустимі приведені витрати.

Складемо рівняння обмежень, виражаючи таким чином параметри зовнішнього критерію як функції внутрішніх змінних задачі:

$$Y_k = f(\bar{X}), \forall Y_k \in \bar{Y}. \quad (30)$$

Середній час відповіді  $T^{avr}$  на запити користувачів визначається як:

$$T^{avr} = T_r^{avr} + T_w^{avr} + T_s^{avr} + T_c^{avr}, \quad (31)$$

де  $T_r^{avr}$  - середній час передачі запиту мережею;  $T_w^{avr}$  - середній час перебування запиту в черзі на обслуговування сервера;  $T_s^{avr}$  - середній час обслуговування запиту сервером;  $T_c^{avr}$  - середній час доставки запитуваного контенту.

Тоді, цільову функцію можна записати у вигляді:

$$Y = \frac{T^{avr}}{T_{\max}} + \frac{G}{G_{\max}} \rightarrow \min, \quad (32)$$

де  $T^{avr} = Y_2 = f(\bar{X})$ ;  $G = Y_3 = f(\bar{X})$ ; – критеріальні параметри системи, до яких функція найбільш чутлива.

Експериментальна оцінка ефективності запропонованого методу проводилась у середовищі Matlab. Результати експерименту наведено в табл. 1 та рис. 5.

Таблиця 1 – Динаміка зміни цільової функції

Покоління	Значення цільової функції	Динаміка зміни значення цільової функції, %
1-10	23,919596	-
11-20	25,815268	9,35
21-30	26,881123	4,25
31-40	26,988312	0,6
41-50	26,989995	0,03
51-60	26,999971	0,02
61-70	27,005263	0,04
71-80	27,015236	0,4
81-90	27,121547	0,38
91-100	27,209415	0,31
101-110	27,291001	0,33
111-120	27,289991	-0,05
121-130	27,288574	0,06
131-140	27,191001	0,09
141-150	27,150545	0,11
151-160	27,050145	-0,06
161-170	27,140506	-0,26
171-180	26,995877	-0,23
181-191	26,995177	-0,05



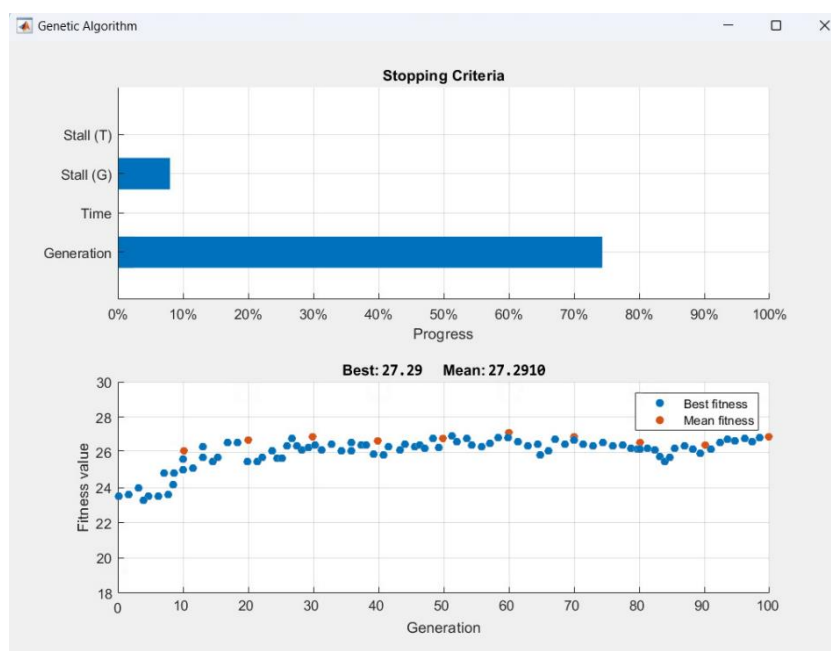


Рис. 5 – Результати моделювання

Формалізовану задачу можна вирішити й відомими методами нелінійної оптимізації, такими як метод гілок та границь, метод штрафних функцій, метод проекції градієнту, метод внутрішньої точки. Всі ці методи реалізовані у модулі Optimization, тому було проведено моделювання рішення визначеної задачі за допомогою цих методів. Результати наведено у табл. 2 та на діаграмі на рис. 6.

Таблиця 2 – Оцінка ефективності запропонованого методу

Метод рішення задачі оптимізації	Цільова функція	Час виконання, сек.
Запропонований метод на базі модифікованого генетичного алгоритму	27,29101	17,33
Метод штрафних функцій	19,10440	11,51
Метод градієнту	19,10453	11,95
Метод внутрішньої точки	19,10500	12,30
Метод гілок та границь	27,29101	18,41

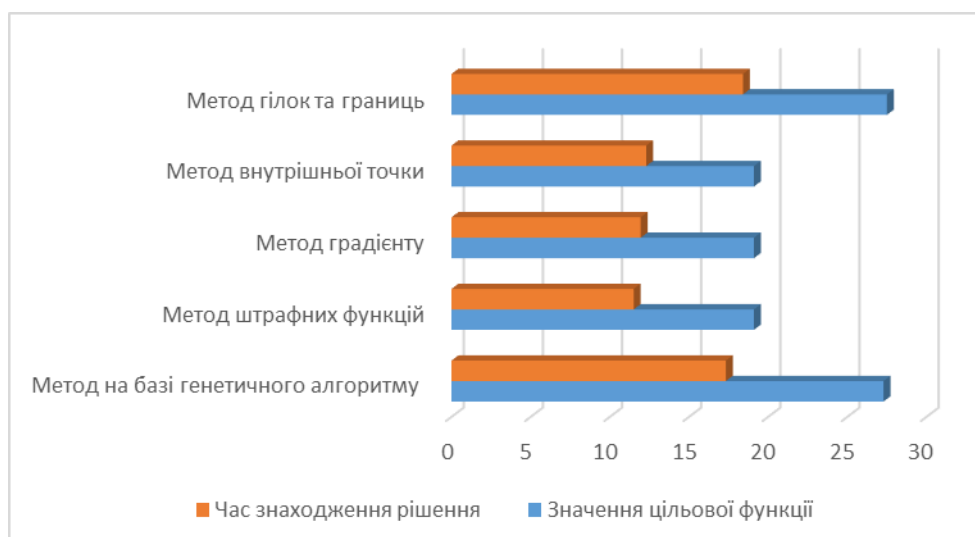


Рис. 6 – Оцінка ефективності запропонованого методу

Результати експерименту підтверджують працездатність запропонованого методу. Метод дозволяє знаходити більш точне рішення у порівнянні з існуючими методами. Більшість методів знаходять локальний оптимум, який не є рішенням задачі, при цьому витрати часу на пошук рішення співвідносяться з витратами час на пошук рішення на базі запропонованого методу. Єдиний метод, який знайшов глобальний оптимум – це метод гілок та границь, але на пошук рішення витрачено на 7% більше часу.

## **ВИСНОВКИ**

У дисертаційній роботі сформульована та вирішена актуальна науково-прикладна задача з підвищення ефективності сервісних платформ в інфокомунікаційних мережах, яка полягає в розробці методу багатоетапної оптимізації для ефективного розв'язання задач з проектування/реконфігурації/реконструкції СП в умовах їх функціонування в нестабільному середовищі, яке динамічно змінюється.

Основні результати роботи такі:

1. Запропоновано моделі багатоетапної оптимізації сервісних платформ в інфокомунікаційних мережах, які відрізняються від відомих моделей урахуванням адаптивних властивостей самого процесу оптимізації (нестационарність та динамічність зовнішнього середовища, в якому функціонує сервісна платформа), що дозволяє адаптуватись під потреби поточної задачі або етапу життєвого циклу.

2. Запропоновано принцип адаптаційної достатності, який визначає що динамічні зміни зовнішнього середовища не дозволяють остаточно сформулювати стаціонарну множину вхідних параметрів  $S$ , тому для рішення задачі з багатоетапної оптимальної сервісної платформи припустимо, що для визначеної цільової функції існує достатній (не надлишковий) рівень деталізації вихідних параметрів, який може бути визначений на підставі формалізованого аналізу умов і цілей проектування/реконфігурації/реконструкції сервісної платформи, що дозволяє знайти таке рішення задачі, за якого обрана цільова функція досягає свого екстремуму.

3. Запропоноване в роботі уточнення терміну «сервісна платформа» усуває заплутаність у наявній термінології у сфері сервісних платформ.

4. Набула подальшого розвитку модель морфологічного опису сервісних платформ на основі стратифікації об'єкта, що дає змогу підвищити точність функціонального опису моделі оптимізації сервісної платформи в контексті розв'язання задачі її багатоетапної оптимізації.

5. Розроблено метод рішення задач багатоетапної оптимізації сервісних платформ упродовж їх життєвого циклу. Метод ґрунтується на базі модернізованого генетичного алгоритму, який для пошуку рішення використовує комбінацію турнірного відбору з елітизмом та випадковою мутацією, що дозволяє повністю змодельовати адаптивність до зовнішнього середовища, в яке занурено сервісну платформу. У порівнянні з наявними методами рішення оптимізаційних задач, розроблений метод дозволяє знаходити більш точне рішення, при цьому витрати часу на пошук рішення співвідносяться з витратами часу на пошук рішення на базі запропонованого методу. Експериментально доведено, що застосування запропонованого методу дозволяє на 7% скоротити пошук рішення задачі багатоетапної оптимізації сервісних платформ у порівнянні з відомими методами. Таким чином розроблений метод можна використовувати як базу для вирішення

системних задач з багатоетапної оптимізації сервісних платформ в інфокомунікаційних мережах в умовах нестационарності та динамічних змін зовнішнього середовища, в яке занурена сервісна платформа.

### **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

#### ***Розділи у монографіях, що входять до наукометричних баз даних Scopus:***

1. Nikityuk L. A., Tsaryov R. Y. Method for Constructing an Adaptive Model for Optimizing Service Platforms of Information and Communication Networks. *International Conference Infocommunications–Present and Future*. Cham: Springer International Publishing, 2020. С. 256-271. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-76343-5>.

2. Каптур В., Tsaryov R. Possible Ways of Determining the Characteristics of Network Traffic for Identification of Required External Connection Line Rate for a Specific Object *International scientific and practical conference Information and communication technologies and sustainable development*. Cham : Springer Nature Switzerland, 2022. С. 54-66.

#### ***Статті у наукових фахових виданнях України:***

3. Нікітюк Л. А., Царьов Р. Ю. Послуги зв'язку нового покоління. *Зв'язок*. 2012 р. №1. С. 23-28.

4. Нікітюк Л. А., Царьов Р. Ю. Модель вибору оптимального набору ресурсів для послуги IPTV. *Збірник наукових праць ОНАЗ ім. О. С. Попова*. 2014. №2. С. 147-152.

5. Нікітюк Л. А., Царьов Р. Ю. Алгоритм рішення задачі вибору оптимального набору ресурсів сервера послуги IPTV. *Збірник наукових праць ОНАЗ ім. О. С. Попова*. 2015. №2. С. 36-43.

6. Нікітюк Л. А., Царьов Р. Ю. Спосіб оптимізації сервісної платформи для послуг IPTV. *Збірник наукових праць ОНАЗ ім. О. С. Попова*. 2016. №1. С. 116-121.

7. Каптур В. А., Царьов Р. Ю. Система експертного оцінювання та каталогізації ресурсів мережі Інтернет. Визначення оптимальної кількості експертів. *Збірник наукових праць ОНАЗ ім. О. С. Попова*. 2016. №2. С. 34-38.

8. Tsaryov R. Y., Korovkina K. V. The generalized classification model of IoT-platforms. *Збірник наукових праць ОНАЗ ім. О. С. Попова*. 2017. №2. С. 76-80.

9. Tsaryov R. Nikityuk L. The method of selecting a hardware-software IoT-platform taking to account the factors of functionality and cost. *Збірник наукових праць ОНАЗ ім. О. С. Попова*. 2018. №2. С.65-74.

10. A system of cognitive monitoring of the patient's condition in the telemedicine network / L. Nikityuk, R. Tsaryov et al. *Збірник наукових праць ОНАЗ ім. О. С. Попова*. 2019. №2. С. 14-20.

#### ***Публікації у матеріалах конференцій, що входять до міжнародних наукометричних баз даних Scopus/Web of Science:***

11. Roman Tsaryov, Lesya Nikityuk "Optimization of the Process of Selecting of the Iot-Platform for the Specific Technical Solution Iot-Sphere" *2018 International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2018 - Proceedings*, Kharkov (Ukraine), 2018, pp. 401–405.

12. Lesya Nikityuk, Roman Tsaryov, Kateryna Lavreka, Kateryna Shulakova "Method Of Optimum Synthesis Of Reconstructed Broadband Subscriber Access Network" *3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT 2019 - Proceedings*, 2019, pp. 140–144.

13. Roman Tsaryov and Lesya Nikityuk "Optimization of Service Platforms on the Base of Adaptation Model" *2020 IEEE International Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2020 - Proceedings, Kharkov (Ukraine), 2021, pp. 87–90.*

14. Tsarov, R., Tymchenko, I., Kumysh, V., Shulakova, K., & Bodnar, L. "Extended classification model of telemedicine station". *Proceedings of 11th International Conference on Applied Innovations in IT, ICAIT 2023; Koethen; Germany; 2023 – Vol. 11. – №. 1. – pp. 37-42.*

15. Talha, S.M., Siden, S., Tsaryov, R., Nikityuk, L. "Assessment of the Possibility of Using 5G to Build Telemedicine Networks in Various Environment" *Proceedings of the IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS, 2023, Dortmund, Germany, –pp. 1125–1129.*

16. Tsarov, R., Nikityuk, L., Tymchenko, I., Siden, S., Bodnar, L. "Using a Genetic Algorithm for Telemedicine Network Optimal Topology Synthesis" *Proceedings of 12th International Conference on Applied Innovations in IT, ICAIT 2024; Koethen; Germany; 2024 – pp. 19-24.*

**Публікації у матеріалах міжнародних та всеукраїнських конференцій:**

17. Tsaryov Roman, Nikityuk Lesya, Prikhodko Ekaterina "The Holographic Technologies in the Infocommunication". *Proc. Internat. Conf. on modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science TCSET'2014, February 21 – March 1, 2014, Lviv-Slavske (Ukraine). pp. 552–554.*

18. Царьов Р. Ю. "Оптимізація набору комплектуючих елементів серверу для організації платформи надання послуг IPTV". *Мат. V міжнародної науково-практичної конференції «Інфокомунікації – сучасність та майбутнє», Україна, Одеса 29-30 жовтня 2015 р., №2. С. 110-113.*

19. Tsaryov R. Y "THE AUTOMATED SELECTION SYSTEM OF THE IOT PLATFORM" *Мат. VIII міжнародної науково-практичної конференції «Інфокомунікації – сучасність та майбутнє», Україна, Одеса 14-16 жовтня 2018 р., №2. С. 24-26.*

20. Царьов Р. Ю., "Адаптаційна модель оптимізації сервісних платформ в інфокомунікаціях протягом життєвого циклу". *Мат. IX міжнародної конференції «Економіка та управління в умовах побудови інформаційного суспільства» Україна, Одеса 2020.*

21. Царьов Р.Ю. "Деякі питання проєктування телемедичних мереж". *Мат. IX міжнародної конференції «Економіка та управління в умовах побудови інформаційного суспільства» ОНАЗ Одеса 2020.*

22. Царьов Р.Ю., Скропад І. К., Цира О. В. "Вибір оптимального набору компонентів для побудови телемедичної мережі" / Р. Ю. Царьов, І. К. Скропад, О. В. Цира // *Мат. X Міжнародної науково-практичної конференція «Інфокомунікації – сучасність та майбутнє» Україна, Одеса 16-19 листопада 2020 р.*

**Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір**

23. Свідоцтво № 84133 від 04.01.2019 р. про реєстрацію авторського права на твір Комп'ютерна програма «Система автоматизованого формування та розповсюдження чорних та білих списків ресурсів мережі Інтернет»/ Каптур В. А., Піднебесний І. А., Царьов Р. Ю., Степаненко О. В.

## АНОТАЦІЯ

**Царьов Р. Ю.** Моделі і метод багатоетапної оптимізації сервісних платформ в інфокомунікаційних мережах. –Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 «Телекомунікаційні системи та мережі» (172 – Телекомунікації та радіотехніка). – Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку, Міністерства освіти і науки України, м. Одеса, 2024.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню науково-практичної задачі підвищення ефективності сервісних платформ в інфокомунікаційних мережах шляхом запровадження методу багатоетапної оптимізації для ефективного рішення задач з їх проєктування/реконфігурації/реконструкції в умовах функціонування в нестабільному середовищі, яке динамічно змінюється. Для вирішення проблеми використано методи системного підходу, теорія систем та мереж масового обслуговування, теорія графів, на основі яких було запропоновано моделі багатоетапної оптимізації сервісних платформ в інфокомунікаційних мережах, які відрізняються від відомих моделей урахуванням адаптивних властивостей самого процесу оптимізації (нестационарність та динамічність зовнішнього середовища в якому функціонує сервісна платформа) та здатні підлаштовуватись під потреби поточної задачі або етапу життєвого циклу. Розроблені моделі багатоетапної оптимізації сервісної платформи містять моделі морфологічного і функціонального опису СП на різних етапах ЖЦ. Для окреслених задач, в роботі набуло подальшого розвитку використання природних методів – запропоновано метод, що ґрунтується на модернізованому генетичному алгоритмі, який для пошуку рішення використовує комбінацію турнірного відбору з елітизмом та випадковою мутацією, що дозволяє повністю змодельовати адаптивність до зовнішнього середовища, в яке занурено сервісну платформу. Запропонований у роботі метод дозволяє знаходити більш точне рішення в порівнянні з відомими методами. Більшість відомих методів знаходять лише локальний оптимум, який не є рішенням задачі, водночас витрати часу на пошук рішення співвідносяться з витратами часу на пошук рішення на базі запропонованого методу. Результати експериментів підтверджують ефективність запропонованих моделей та методу, що дозволяє рекомендувати їх як базу для вирішення системних задач з багатоетапної оптимізації сервісних платформ в інфокомунікаційних мережах в умовах нестационарності та динамічних змін зовнішнього середовища.

**Ключові слова:** сервісна платформа, інфокомунікаційна мережа, багатоетапна оптимізація, адаптація, моделі морфологічного та функціонального опису, стратифікований підхід, реконструкція та реструктуризація, параметри та характеристики, генетичний алгоритм.

## ABSTRACT

**Tsarov R. Y.** Models and method of multi-stage optimization service platforms in infocommunication networks. –Manuscript.

A thesis submitted in fulfillment of Ph.D (candidate) degree in technical science on specialty 05.12.02 – «Telecommunication networks and systems». – State university of intelligent technologies and telecommunications, Ministry of Education and Science of Ukraine, Odesa, 2024.

The dissertation work is devoted to the solution of the scientific and practical task of increasing the efficiency of service platforms in information communication networks by introducing the method of multi-stage optimization for the effective solution of tasks related to their design/reconfiguration/reconstruction in the conditions of functioning in an unstable environment that changes dynamically. To solve the problem, the methods of the system approach, the theory of mass service systems and networks, the theory of graphs were used, on the basis of which models of multi-stage optimization of service platforms in information communication networks were proposed, which differ from known models taking into account the adaptive properties of the optimization process itself (non-stationarity and dynamism of the external environment in on which the service platform functions) and are able to adapt to the needs of the current task or stage of the life cycle. The developed models of multi-stage optimization of the service platform include models of morphological and functional description of SP at different stages of the service center. For the outlined problems, the use of natural methods has been further developed in the work - a method based on a modernized genetic method is proposed, which uses a combination of tournament selection with elitism and random mutation to find a solution, which allows to fully simulate the adaptability to the external environment in which the service is immersed the platform. The method proposed in the work allows finding a more accurate solution in comparison with existing methods. Most of the existing methods find only a local optimum, which is not a solution to the problem, while the time spent on searching for a solution is correlated with the time spent on searching for a solution based on the proposed method. The results of the experiments confirm the effectiveness of the proposed models and method, which makes it possible to recommend them as a basis for solving system problems of multi-stage optimization of service platforms in information communication networks in conditions of non-stationarity and dynamic changes in the external environment.

**Keywords:** infocommunication network, service platform, multi-stage optimization, adaptation, models of morphological and functional description, stratified approach, reconstruction and restructuring, parameters and characteristics, genetic algorithm.

### **Перелік умовних скорочень**

- ГА – генетичний алгоритм
- ЖЦ – життєвий цикл
- ЗС – зовнішнє середовище
- МСЕ – міжнародний союз електрозв’язку
- СП – сервісна платформа
- СУ – система управління