

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

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Царьов Роман Юрійович

УДК 621.396

ДИСЕРТАЦІЯ

**Моделі та метод багатоетапної оптимізації сервісних платформ в
інфокомунікаційних мережах**

05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

(шифр і назва спеціальності)

05 «Технічні науки»

(галузь знань)

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



/Р. Ю. Царьов/

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Подається на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник:
Нікітюк Леся Андріївна,
к.т.н., доцент

**Ідентичність всіх примірників дисертації
ЗАСВІДЧУЮ:**

*Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради*



/Д. М. Степанов/

Одеса – 2024

АНОТАЦІЯ

Царьов Р. Ю. Моделі і метод багатоетапної оптимізації сервісних платформ в інфокомунікаційних мережах. – На правах рукопису.

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, Одеса, 2024.

У дисертаційній роботі 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 проєктування/реконфігурації/реконструкції СП в умовах їх функціонування в нестабільному середовищі, яке динамічно змінюється.

Основні задачі дослідження:

- 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 процеси проєктування, реконфігурації та реконструкції сервісних платформ в інфокомунікаційних мережах; **предмет дослідження:** моделі та метод багатоетапної оптимізації проєктування, реконфігурації та реконструкції сервісних платформ в інфокомунікаційних мережах.

Головним науковим результатом є вперше розроблений метод багатоетапної оптимізації сервісних платформ в інфокомунікаційних мережах в

умовах їх функціонування в нестабільному середовищі, яке динамічно змінюється. Запропонований метод відрізняється від наявних урахуванням адаптивних властивостей самого процесу оптимізації (нестационарність та динамічність зовнішнього середовища в якому функціонує сервісна платформа) та здатний підлаштовуватись під потреби поточної задачі або етапу життєвого циклу. В контексті досліджуваної задачі, запропоновано принцип адаптаційної достатності, який визначає, що динамічні зміни зовнішнього середовища не дозволяють остаточно сформулювати стаціонарну множину вхідних параметрів S . Для рішення задачі з багатоетапної оптимізації сервісних платформ для визначеної цільової функції запропоновано використувувати достатній (не надлишковий) рівень деталізації вихідних параметрів, який визначається на підставі формалізованого аналізу умов і цілей проектування/реконфігурації/реконструкції сервісної платформи, що дозволяє знайти таке рішення задачі, при якому обрана цільова функція досягає свого екстремуму.

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.

Набуло подальшого розвитку використання природних методів для багатоетапної оптимізації сервісних платформ упродовж їх життєвого циклу. Розроблений метод рішення задачі 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 та знаходити більш точне рішення у порівнянні з наявними методами. Більшість наявних методів знаходять лише локальний оптимум, який не є рішенням задачі, при цьому витрати часу на пошук рішення співвідносяться з витратами часу на пошук рішення на базі запропонованого методу.

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

Проведена верифікація ефективності запропонованих моделей та методу багатоетапної оптимізації сервісних платформ для вирішення таких актуальних прикладних задач як проєктування сервісної платформи надання відеосервісів та реконструкція сервісної платформи телемедицини, що підтверджує доцільність їх використання.

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 нестаціонарності 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. – On rights for a 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 solves actual scientific-applied task of improving the efficiency of service platforms in infocommunication networks, which consists in developing a multi-stage optimization method for the effective solution of tasks related to their design/reconfiguration/reconstruction in the conditions of functioning in an unstable environment that changes dynamically.

Objectives of dissertation work:

– analysis of the state and development of modern service platforms in infocommunication networks;

- formulation and formalization of the problem of building adaptive models of multi-stage optimization of a service platform for different stages of the life cycle;
- improvement of models of morphological and functional description of service platforms;
- development of a method for solving the problem of multi-stage optimization of service platforms during their life cycle;
- analysing the effectiveness of the proposed method based on the results of solving the problems of optimizing the service platform for IPTV service provision and optimizing the service platform in the telemedicine network.

The object of research – the processes of designing, reconfiguring, and reconstructing service platforms in infocommunication networks; **subject of research** – models and a method for multi-stage optimization of designing, reconfiguring, and reconstructing service platforms in infocommunication networks.

The principal scientific result is the originally developed method of multi-stage optimization of service platforms in infocommunication networks in the conditions of their functioning in an unstable and dynamically changing environment. The proposed method differs from the existing ones by taking into account the adaptive properties of the optimization process itself (non-stationarity and dynamism of the external environment in which the service platform operates) and is able to adapt to the needs of the current task or stage of the life cycle. In the context of the problem under study, the author proposes the principle of adaptive sufficiency, which determines that dynamic changes in the environment do not allow for the final formation of a stationary set of input parameters S .

To solve the problem of multi-stage optimization of service platforms for a given objective function, it is proposed to use a sufficient (not excessive) level of detail of the initial parameters, which is determined on the basis of a formalized analysis of the conditions and objectives of designing/reconfiguring/reconstructing a service platform, which allows finding a solution to the problem at which the selected objective function reaches its extremum.

The model of morphological description of service platforms was further developed, introducing the principle of object stratification, which makes it possible to improve the accuracy of the structural and parametric description of the service platform in the context of solving the problem of its multi-stage optimization.

The use of natural methods for multi-stage optimization of service platforms throughout their life cycle has been further developed. The developed method of solving the problem is based on a modernized genetic algorithm that uses a combination of tournament selection with elitism and random mutation to find a solution, which allows to fully model the adaptability to the external environment in which the service platform is immersed and find a more accurate solution compared to existing methods. Most existing methods find only a local optimum, which is not a solution to the problem, while the time spent on finding a solution is comparable to the time spent on finding a solution based on the proposed method.

The proposed clarification of the term "service platform" eliminates confusion in the existing terminology in the field of service platforms.

The efficiency of the proposed models and the method of multi-stage optimisation of service platforms for solving such topical application problems as designing a service platform for providing video services and reconstruction of a telemedicine service platform has been verified, which confirms the feasibility of their use.

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

Список публікацій здобувача:

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. Kaptur V., 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., Nikityk, 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, Nikituk 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 проектування 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". *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.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	13
ВСТУП.....	14
1 АНАЛІЗ СТАНУ І ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ СЕРВІСНИХ ПЛАТФОРМ В ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ.....	21
1.1 Визначення сервісної платформи в інфокомунікаційних мережах	21
1.2 Життєвий цикл сервісної платформи в інфокомунікаційних мережах	30
1.3 Аналіз і формування вимог до сервісної платформи	44
1.4 Висновки до 1-го розділу	48
2 ПОБУДОВА АДАПТИВНОЇ МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ СЕРВІСНОЇ ПЛАТФОРМИ ВПРОДОВЖ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ.....	49
2.1 Сервісна платформа як об’єкт адаптації.....	49
2.2 Побудова моделі морфологічного опису сервісної платформи	52
2.3 Побудова моделей функціонального опису оптимізації сервісної платформи впродовж життєвого циклу	59
2.4 Висновки до 2-го розділу	63
3 РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ БАГАТОЕТАПНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ СЕРВІСНОЇ ПЛАТФОРМИ	64
3.1 Визначення фаз загального адаптаційного процесу на різних етапах життєвого циклу	64
3.2 Розробка алгоритму вирішення задачі проектування сервісної платформи.	70
3.3 Розробка алгоритму вирішення задачі реконфігурації сервісної платформи	84
3.4 Розробка алгоритму вирішення задачі реконструкції сервісної платформи	104
3.5 Висновки до 3-го розділу	111
4 ПОСТАНОВКА ТА ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ОПТИМІЗАЦІЇ СЕРВІСНИХ ПЛАТФОРМ З ВИКОРИСТАННЯМ АДАПТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ І ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ	115
4.1 Задача оптимізації сервісної платформи надання послуги IPTV	115

4.2 Оптимізація сервісної платформи телемедицини.....	131
4.3 Практичне використання результатів дослідження.....	139
4.4 Висновки до 4-го розділу	141
ВИСНОВКИ.....	143
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	145
ДОДАТОК А Акти впровадження результатів дисертаційної роботи	158
ДОДАТОК Б Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.....	161
ДОДАТОК В Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір	165

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

FGN – Future Generation Network ;
FPS – fitness proportionate selection;
IoT – Internet of Things;
IID – iterative and incremental development;
IP – Internet Protocol;
IPTV – Internet Protocol Television;
ITU – International Telecommunication Union;
MTBF – Mean Time Between Failure;
MTTR – Mean Time To Repair;
NGN – Next Generation Networks;
MVP – minimum viable product;
QoS – quality of service;
SP – service platform;
ГА – генетичний алгоритм;
ЖЦ – життєвий цикл;
ЗС – зовнішнє середовище;
ІКТ – інформаційно-комунікаційні технології;
ІС – інформаційна система;
МСЕ – міжнародний союз електрозв'язку;
ПЗ – програмне забезпечення;
СП – сервісна платформа;
СУ – система управління;
СУБД – Система управління базами даних;
ТП – телемедичний пункт.

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасний етап еволюційного розвитку галузі зв'язку характеризується конвергентними процесами, які відбуваються одночасно у мережах, технологіях та послугах. Мережі зв'язку нового покоління стрімко набувають ознаки інформаційно-комунікаційних мереж, тобто мереж, здатних надавати послуги необмеженого спектру.

Сучасний розвиток інфокомунікаційних мереж та інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) є однією зі значущих тенденцій розвитку сучасного суспільства. ІКТ сприяли формуванню та розвитку такого феномену як інформаційне суспільство. За останні 30 років галузь зв'язку здійснила складний еволюційний розвиток – від допоміжних засобів до інтелектуальних систем, які здійснюють управління та прийняття рішень практично в усіх сферах життєдіяльності людства [1, 2]. На базі ІКТ та інфокомунікаційних мереж створюються різноманітні мережеві інфраструктури для виробництва та надання різноманітних інформаційно-комунікаційних мережевих сервісів. Рушійною силою розвитку ІКТ є конвергентні процеси, які властиві мережам, технологіям та послугам.

Головним трендом розвитку ІКТ на початку XXI століття була концепція мереж наступного покоління (Next Generation Networks) [3, 4]. Найбільш відомою проблемою концепції NGN стала відсутність єдиної точки зору на те, що саме являє собою мережа наступного покоління, які їй притаманні властивості. Міжнародний союз електрозв'язку (МСЕ) спробував надати відповідь на частину цих питань та розробив рекомендацію Y.2001 [5], але консенсусу не було досягнуто, і наукова спільнота розпочала активні дискусії щодо подальшого розвитку галузі зв'язку [6] – була запропонована концепція мереж майбутнього покоління (Future Generation Network). МСЕ розробив рекомендацію Y.3001 [7], яка визначає засадничі аспекти мережі майбутнього покоління FGN.

Активну участь у розвитку концепції FGN та створенні рекомендації Y.3001 брали як українські науковці, такі як В. Б. Каток [8], В.Г. Кривуца, Л.М. Беркман [9], так і науковці інших країн [10-12]. У своїх роботах, вони сформували загальне бачення функціонування мереж майбутнього покоління. Так у [10] зазначено, що мережа майбутнього покоління – це високоінтелектуальний об'єкт, який орієнтований на позбавлення користувачів від виконання рутинних операцій (наприклад встановлення з'єднання) та буде здатна динамічно підлаштовувати параметри послуг під потреби користувача. В [12] відзначається, що майбутня мережа повинна вміти проводити динамічний перерозподіл ресурсів для забезпечення найбільш ефективного їхнього використання і надання послуг потрібної якості. В [11] автор пропонує модель мережі майбутнього у вигляді гіпер-маркету, здатного надавати користувачам необмежений набір послуг, за умов того, що користувачам не потрібні знання щодо технологій та ресурсів, які застосовуються у процесі виробництва та надання цих послуг.

Всі концепції можливого розвитку мереж майбутнього покоління мають свої особливості та нюанси, разом з тим, усі ці концепції визначають ключовий складовий елемент цих мереж – *сервісну платформу*.

Проблематикою сервісних платформ в інфокомунікаціях займається багато вітчизняних та закордонних науковців. Питанням оптимізації структури сервісної платформи присвячено роботи таких вчених, як Урецького Я. С., Царева Л. С., Валеева А. К., Нікітюк Л. А. та інші.

Аспекти пов'язані з управлінням сучасних сервісних платформ 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 платформи та мереж присвячені дослідження Ложковського А. Г., Лемешко О. В, Голдыштейна Б. С., Стрихалюка Б. М, Лісового І. П., Роліка О. І., Yu C. Z. Eli Weintraub, Yuval Cohen, Christine Strauss. 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, наукова та практична цінність їх розробок має велике значення, але здебільшого, об'єкт дослідження (сервісна платформа) аналізується лише з позицій однієї, певної точки зору чи фази життєвого циклу (проектування, управління, експлуатація тощо). Дослідження сервісної платформи у комплексі, з різних точок зору, упродовж усіх стадій життєвого циклу, фактично відсутні. А це, у свою чергу, перешкоджає створенню адаптаційної моделі сервісної платформи, яка здатна підлаштовуватись під потреби поточної задачі або фази життєвого циклу.

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 відповідно 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 даної дисертаційної роботи є підвищення ефективності сучасних сервісних платформ в інфокомунікаційних мережах шляхом розроблення методу багатоетапної оптимізації для ефективного розв'язання задач з їх проектування/реконфігурації/реконструкції.

Основними задачами дослідження визначені:

- 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 упродовж 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 проектування, реконфігурація та реконструкція сервісних платформ в інфокомунікаційних мережах.

Предмет дослідження: моделі та метод багатоетапної оптимізації проектування, 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 властивості 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 сформулювати 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 полягає в наступному:

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

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

3. Розроблений на базі генетичного алгоритму метод, дозволяє знаходити більш точне рішення у порівнянні з існуючими методами. Більшість відомих методів знаходять лише локальний оптимум, який не є рішенням задачі, при цьому 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 існуючими 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 та зв'язку.

Основні результати дисертаційної роботи використано і впроваджено в ПАТ "Укртелеком" під час реконструкції сервісної платформи надання послуг Triple Play, ДП «ОНДІЗ» у 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 продовж усіх етапів її життєвого циклу, у монографії [2] – алгоритм визначення вихідних даних для проєктування 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-а, 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 (ICAІТ 2023, ICAІТ 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 у дисертаційній роботі, опубліковано 22 наукові праці, зокрема розділи у 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.

1 АНАЛІЗ СТАНУ І ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ СЕРВІСНИХ ПЛАТФОРМ В ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ

1.1 Визначення сервісної платформи в інфокомунікаційних мережах

Поняття інфокомунікації відображає перебіг інтеграції інформації та засобів комунікації в єдиний процес. Інформація – це ресурс, який має певні властивості, який є потрібним для користувачів і для доступу до якого користувачам необхідно використовувати засоби телекомунікацій. Враховуючи це, вітчизняні науковці Нікітюк Л. А. та Воробієнко П. П. надали таке визначення інфокомунікаціям: «це сукупність засобів обробки, накопичення, зберігання інформації та перенесення її у просторі, які імплементовані в єдину мережеву структуру, за допомогою якої забезпечується доступність інформаційних ресурсів та інформаційний обмін» [2].

Похідними від інфокомунікацій є інфокомунікаційні мережі та інфокомунікаційні сервіси. Ключовими рисами інфокомунікаційних сервісів є:

- доступність користувачам, не залежно від точки підключення самих користувачів;
- надання користувачам можливості здійснювати керування послугами;
- надання користувачам можливості отримувати мультифункціональні послуги (послуги, які реалізують одночасно декілька потреб користувача).

Сучасні інфокомунікаційні мережі надають практично не обмежені можливості з формування будь-якої інфокомунікаційної послуги. Розвиток інфокомунікацій та інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) є однією зі значущих тенденцій розвитку сучасного суспільства [1, 2]. На базі ІКТ створюються різноманітні мережеві інфраструктури для виробництва та надання різноманітних інформаційно-комунікаційних мережевих сервісів. Основною рушійною силою розвитку ІКТ є конвергентні процеси, які властиві

мережам, технологіям та послугам. Найбільш яскраво ці процеси може проілюструвати зміна структури та зростання обсягів мережевого трафіку (рис. 1.1) [13-17].

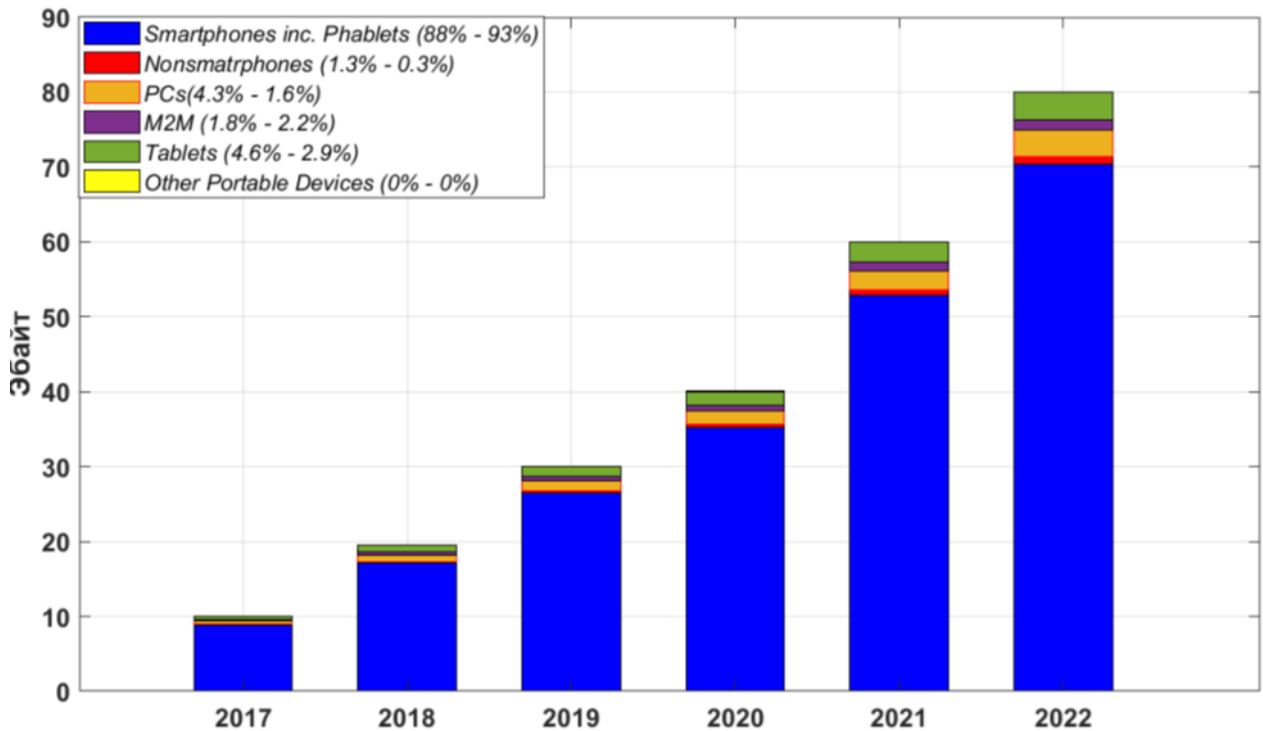


Рисунок 1.1 – Статистичні дані щодо зміни структури та обсягу мережевого трафіку

Як можна побачити з діаграми, за останні роки мережевий трафік постійно змінює свою структуру – зростають обсяги світового IP трафіку з 10 екзабайт у 2007 році до 80 екзабайт у 2022 році, з прогнозом перетинання відмітки у 1 зеттабайт за підсумками 2023 року. Основною складовою стає інтерактивний відеотрафік, зростає доля мобільного трафіку та трафіку міжмашинних взаємодій (концепція Інтернет речей) [14-17]. Такі зміни структури IP трафіку свідчать про те, що відбувається зміни і у мережевих послугах. Разом з цим відбувається зміна типів пристроїв, які будуть підключатися до сервісної платформи (рис. 1.2) [16, 17].

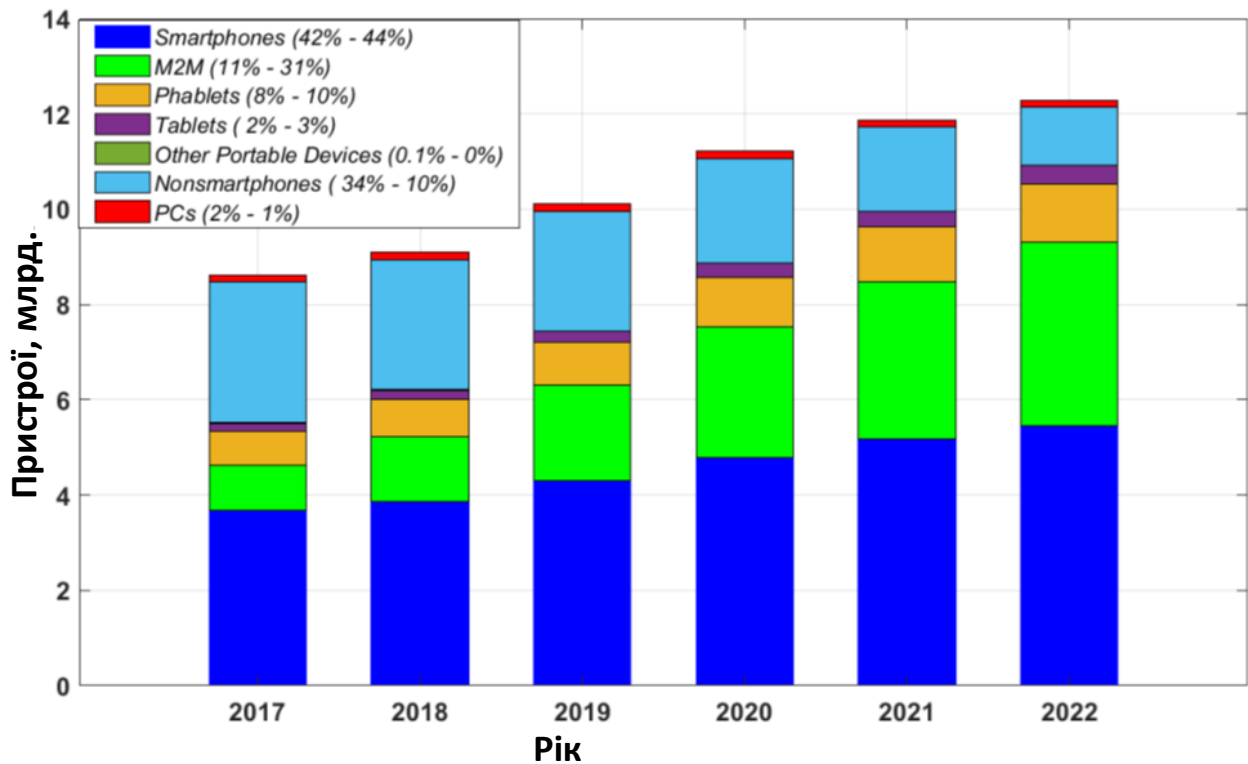


Рисунок 1.2 – Динаміка зростання кількості пристроїв підключених до сервісних платформ

Дані, наведені на рис. 1.1 та рис. 1.2 свідчать про те, що необхідні моделі та методи, які дозволять ефективно проєктувати, здійснювати реконструкцію та реконфігурацію сервісних платформ в умовах значної кількості пристроїв, що підключаються до неї та генерують значні обсяги трафіку.

Популярним трендом розвитку інфокомунікацій XXI століття була концепція мереж наступного покоління (Next Generation Networks NGN) визначена у рекомендації ITU Y.2001 [5, 49], яка в подальшому була трансформована у концепцію мереж майбутнього покоління (Future Generation Network – FGN), яку МСЄ формалізував у рамках рекомендації Y.3001 [7], яка визначає засадничі аспекти мережі майбутнього покоління. Активну участь у розвитку концепції FGN брали як українські науковці, такі як В. Б. Каток, В.Г. Кривуца, Л.М. Беркман [8, 9], так і науковці з інших країн [10-12]. У своїх роботах, науковці сформувавши загальне бачення функціонування мереж майбутнього покоління та відзначили, що ключовим елементом мереж майбутнього покоління є *сервісна платформа*.

Розвиток інфокомунікацій та структура концепції FGN передбачають, що у майбутньому оператори та провайдери, будуть мати практично не обмежені можливості з формування будь-яких послуг, найбільш цікавими з яких є послуги, які мають інтерактивну складову, персоналізацію та можливість споживання через мобільні мережі [14-19].

Нові послуги висуватимуть високі вимоги, до сервісної платформи, як ключового елемента з виробництва цих послуг, і як наслідок, елемента який забезпечує необхідний рівень показників якості цих послуг. Очевидно, що створювати нову сервісну платформу під кожен нову послугу є нерентабельним, а отже, є актуальною задача створення динамічної моделі сервісної платформи надання послуг, яка є центральним елементом інфокомунікацій. В сучасних умовах динамічного розвитку інфокомунікацій, впровадженню таких концепцій як «Інтернет речей» (IoT), тактильний Інтернет, хмарні технології (Cloud Computing), телемедицина (eHealth) необхідною є вирішення задачі динамічної оптимізації сервісної платформи під вимоги користувачів до мережевих сервісів, що постійно змінюються.

Виходячи з цієї аксіоми, що сервісна платформа (СП) на базі інформаційно-комунікаційної інфраструктури є основою надання мережевих послуг, потрібно уявити що саме розуміється під терміном СП.

За результатами аналізу наукових публікації та досліджень, можна констатувати, що єдиного визначення та тлумачення терміну сервісна платформа не існує. Так оператори та провайдери мережевих сервісів визначають що: «сервісна платформа – це комплекс обладнання та програмного забезпечення для організації мережевих сервісів на мережі оператора з взаємною інтеграцією усіх компонентів як в середині комплексу, так і з іншими компонентами інфраструктури оператора»[20].

З іншого боку, розробники мережевого устаткування, компанії ІТ-інтегратори визначають що: «сервісна платформа – це ключовий актив оператора, який забезпечує увесь «життєвий цикл» мережевої послуги, а саме розробку, провадження, розвиток, управління тощо»[21, 22].

В роботі [4] автори надають наступне визначення сервісної платформи: «сервісна платформа – це сукупність ресурсів мережі, задіяних у виробництві та наданні користувачам конкретної послуги або певного набору послуг». Натомість в роботі [23] автори визначають сервісну платформу надання послуг як «транспортну систему» для обміну інформацією, яка являє собою сукупність мережевого устаткування, яке бере участь у виробництві та наданні послуг користувачам.

В [24] автор визначає, що сервісна платформа – це технологічна основа для формування технологічного рішення (послуги) зі збору, обробки, передавання, аналізу та візуалізації даних для енергетичного, виробничого, медичного, та інших секторів економіки. Фактично сервісна платформа розглядається автором, як екосистема, яка містить інфраструктуру (апаратно-програмні комплекси) для обробки даних та підключення клієнтів, дані (генеруються як користувачами, так і самою платформою у процесі функціонування) та правила взаємодії (визначають правила взаємодії користувачів з платформою).

В [25] термін сервісна платформа визначається, як сукупність обладнання, каналів та методів передачі, які використовуються для надання мережевих сервісів споживачам.

З розвитком ІКТ, появою нових концепцій (IoT, Cloud Computing, eHealth) термін СП активно мігрує у нові сфери. Так у сфері телемедицини активно застосовується термін сервісна платформа надання телемедичних послуг або його еквівалент телемедичний комплекс. В [26, 27] визначається, що телемедичний комплекс – це апаратно-програмний комплекс для збору, обробки, опрацювання, зберігання та передачу медичної інформації, потрібної для надання послуг телемедицини.

В рамках концепції IoT термін СП є одним з центральних. В роботах [18, 28] визначається, що сервісна платформа IoT це: об'єкт, який поєднує реальну та віртуальну складові концепції та являє собою сукупність технологічних модулів, до складу яких входять модуль апаратного забезпечення, модуль

програмного забезпечення, модуль телекомунікаційного забезпечення та модуль забезпечення інформаційної безпеки.

Аналізуючи наведені вище визначення, очевидно, що всі вони в той чи іншій мірі відображають суть поняття СП, але разом з цим вносять деяку заплутаність. З урахуванням цього, у даній роботі пропонуємо наступне узагальнююче визначення терміну «сервісна платформа», а саме: *сервісна платформа – це сукупність ресурсів і технологій інфокомунікацій, які використовуються у виробництві та наданні послуги (послуг) з метою задоволення вимог користувача.*

Виходячи з наданого визначення, у сервісній платформі можна відокремити три базові складові – сукупність ресурсів, система управління та споживачі сервісів (рис. 1.3).

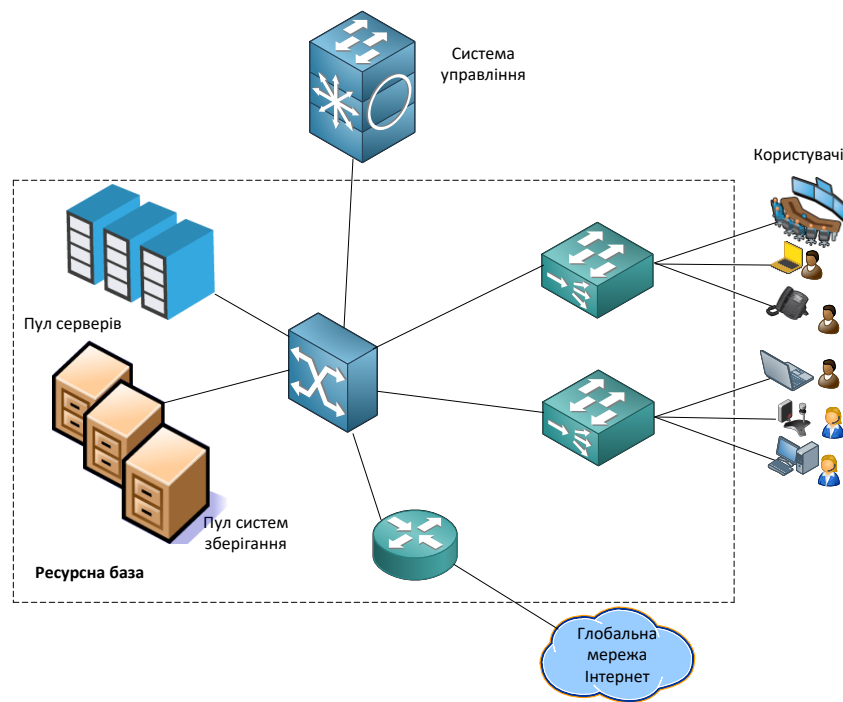


Рисунок 1.3 – Структурна схема сервісної платформи

Очевидно, що наведена на рис. 1.3 схема відповідає «класичній» концепції сервісної платформи – ресурсна база розгорнута локально. Але, як вже зазначалось, сучасні тренди розвитку інфокомунікацій передбачають створення таких сервісних платформ, які здатні задовольнити вимоги

користувачів стосовно спектра та якості мережевих послуг, надавати якісний та безпечний доступ до Інтернету. Для реалізації цього сучасні сервісні платформи створюються з використанням технологій віртуалізації та хмарних технологій. Враховуючи це, структурну схему сервісної платформи можна представити у вигляді наведеному на рис. 1.4.

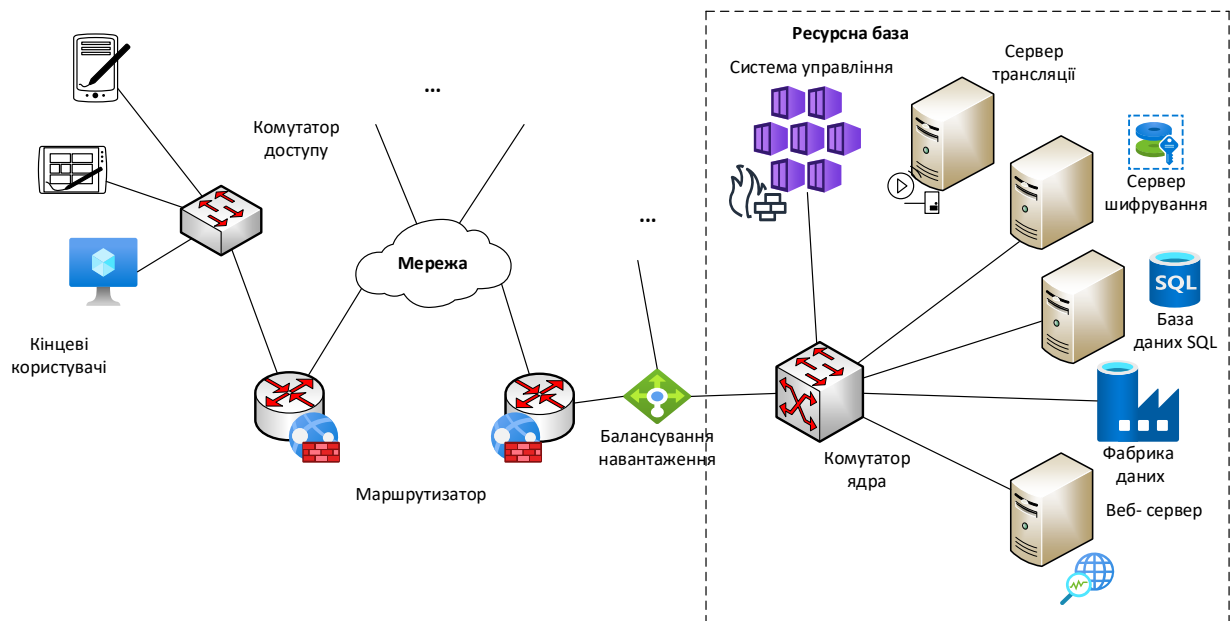


Рисунок 1.4 – Структурна схема сучасної сервісної платформи

Проблематикою сервісних платформ в інфокомунікаціях займається багато як вітчизняних, так і закордонних науковців. Питанням оптимізації структури сервісної платформи присвячено роботи таких вчених, як Урецького Я. С., Валеева А. К., Нікітюк Л. А. Аспекти пов'язані з управлінням сучасних сервісних платформ в інфокомунікаціях досліджуються у працях таких вчених, як Климаша М. М, Поповського В. В., Тіхонова В. І., Беркмана Л. Н., Теленика С. Ф., Глоби Л. С., Hong J. W. та інших.

Питанням оптимізації сервісно-орієнтованих платформи 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. Управління ресурсами у мережевих системах та платформах досліджуються у роботах Воробієнко П. П., Каптура В. А.,

Додонова А. Г., Xiaohu Ge, Jo M., Aramudhan M., Schmidt H., Walter F. Witt, Bloomers J. та інших.

Сьогодні, досліджено та вирішено широке коло задач у сфері розвитку сучасних сервісних платформ інфокомунікаційних мереж. Так в роботі [29] розроблено метод вибору оптимального набору засобів телекомунікацій для проектування сервісної платформи який ґрунтується на використанні відомого методу аналізу ієрархій. В [30] запропоновано модель для розрахунку та оптимізації параметрів інфраструктури гетерогенної мобільної сервісної платформи для мереж п'ятого покоління, а також розроблено метод адаптивної динамічної реконфігурації сервісної платформи для мережі.

Значна кількість досліджень зосереджена на вирішенні задач проектування сервісної платформи, це обґрунтовується тим, що більшість дослідників та науковців вважають, даний етап життєвого циклу сервісної платформи є найбільш фундаментальним, через те, що саме на цьому етапі формується структура сервісної платформи, яка надалі буде виконувати та вирішувати усі задачі, які покладаються на проєктовану сервісну платформу.

В роботі [31] досліджується, які фактори впливають на не ефективне використання ресурсів сервісної платформи, як від вибору фізичної структури сервісної платформи залежить ефективність її використання у майбутньому. Автори пропонують метод визначення оптимальної фізичної структури сервісної платформи з урахуванням фактору забезпечення максимальної якості сервісів, які надає платформа.

В [32] запропоновано модель функціонально- параметричного синтезу сервісної платформи, яка дозволяє визначити її топологічну структуру та необхідну пропускну здатність каналів передачі даних.

В роботах [33, 34] досліджуються питання управління ресурсною базою сервісної платформи. Автори запропонували низку моделей та методів, які дозволяють здійснювати динамічне управління ресурсами каналів зв'язку сервісної платформи, управляти процесом маршрутизації.

Питання реструктуризації сервісної платформи досліджуються у роботі [35] – запропонований підхід розглядає процес реструктуризації сервісної платформи як динамічний процес, який відбувається в умовах невизначеності параметрів сервісної платформи.

Особливості побудови та використання сервісних платформ з використанням хмарних сервісів для створення систем електронного урядування та надання відповідних послуг досліджуються в роботі [36]. Проведене дослідження демонструє ефективність використання хмарних технологій у структурі сучасної сервісної платформи та демонструє їх можливості у сфері розбудови систем електронного урядування. В [37] проведено аналіз, який показує що парадигма організації сервісних платформ зазнає трансформації – відбувається активна інтеграція хмарних технологій у структуру сервісних платформ, що дозволяє створювати гнучкі сервісні платформи різної ресурсної конфігурації з урахуванням вимог щодо рівнів якості послуг, які потрібно забезпечити для множини споживачів.

Значний інтерес становить питання адаптації структури сервісної платформи у режимі реального часу, так в [38] запропоновано модель адаптації логічної структури хмарної сервісної платформи, яка дозволяє проводити перерозподіл апаратних ресурсів серверів між віртуальними машинами в процесі надання послуг користувачам.

Зазначені вище наукові праці являють собою великий здобуток у питаннях розвитку та розбудови сервісних платформ, наукова та практична цінність їх має велике значення, але необхідно відзначити, що вони здебільшого розглядають об'єкт дослідження (СП) лише з позицій однієї, певної точки зору чи фази життєвого циклу (проектування, управління, експлуатація тощо). Однак, наявні моделі та алгоритми надають можливість проводити синтез та аналіз лише «базової» структури сервісної платформи та лише на окремих стадіях її життєвого циклу. Динамічне ж дослідження сервісної платформи продовж усіх стадій ЖЦ, чи з різних точок зору у комплексі, такі моделі фактично не дозволяють.

Створення сервісних платформ під вимоги сучасних послуг, що динамічно змінюються, є не тривіальним завданням й потребує розробки специфічної оптимізаційної моделі, здатної відобразити умови формування і функціонування сервісної платформи, що змінюються у часі.

Автори розглянутих вище робіт, переважно, досліджували аспекти, пов'язані з оптимізацією структури сервісних платформ та питання управління сервісними платформами. Визнаючи наукову та практичну цінність наукових праць вищезазначених авторів, слід зазначити, що вони переважно розглядають сервісну платформу лише з однієї точки зору або з однієї фази життєвого циклу, як то: проектування, управління, експлуатація тощо. Однак життєвий цикл (ЖЦ) сервісної платформи – 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.

1.2 Життєвий цикл сервісної платформи в інфокомунікаційних мережах

Створення та функціонування сервісної платформи – це складний та багатоетапний процес, який вимагає чіткої структуризації робіт та певної методології впровадження. В цьому контексті для дослідження СП пропонується застосувати поняття життєвий цикл (ЖЦ), який є безперервним процесом її побудови та функціонування аж до вилучення з експлуатації. При цьому модель ЖЦ СП, у свою чергу, може ділитися на стадії. Результати виконання робіт на кожній стадії, ключові події - точки завершення робіт і прийняття рішень.

Отже, стадія – це частина процесу створення СП, яка обмежена певними часовими рамками та закінчується наданням конкретного результату (моделі,

програмних компонентів, документації тощо), що визначається заданими для цієї стадії вимогами.

На кожній стадії можуть виконуватися кілька процесів і, навпаки, той самий процес може виконуватися на різних стадіях. Співвідношення між процесами та стадіями також визначається використовуваною моделлю ЖЦ СП.

ЖЦ утворюється відповідно до принципу спадаючого проєктування і зазвичай має ітераційний характер: реалізовані етапи, починаючи з перших, циклічно повторюються відповідно до змін вимог та зовнішніх умов, запровадження обмежень тощо. На кожному етапі ЖЦ породжується певний набір документів та технічних рішень. При цьому для кожного етапу початковими є документи та рішення, отримані на попередньому етапі. Кожен етап завершується верифікацією народжених документів та рішень з метою перевірки відповідності їх вихідним. Існуючі моделі ЖЦ визначають порядок виконання етапів у ході розробки, а також критерії переходу від етапу до етапу.

Загальна формалізація процесів ЖЦ СП здійснюється на базі моделей життєвого циклу. Існує два основних типи моделей ЖЦ [39-42, 51]:

- прогнозовані моделі ЖЦ – в основі цих моделей лежить чітке планування усіх стадій процесу розробки ПЗ.
- адаптивні моделі ЖЦ (так звані гнучкі технології) – їх особливістю є адаптація ітерацій процесу розробки під потреби замовника.

На даний час найпоширенішими серед прогнозованих моделей є [43-45]:

- Водоспадна модель;
- V-подібна модель;
- Інкрементна модель;
- Спіральна модель;
- Модель гнучкої розробки.

Найвідомішими адаптивними моделями ЖЦ є: Scrum; XP (Extreme Programming); Adaptive Software development (ASD); Dynamic System Development Model (DSDM); Feature Driven Development (FDD).

Водоспадна модель ЖЦ була розроблена у 1970 році. Цільове призначення моделі – розробка програм індивідуального використання та розробка комплексних програмних засобів промислового і комерційного призначення [43, 45]. У даній моделі розробка розглядається як послідовність етапів, причому перехід на наступний, ієрархічно нижчий етап відбувається тільки після завершення робіт на поточному етапі (рис. 1.6).

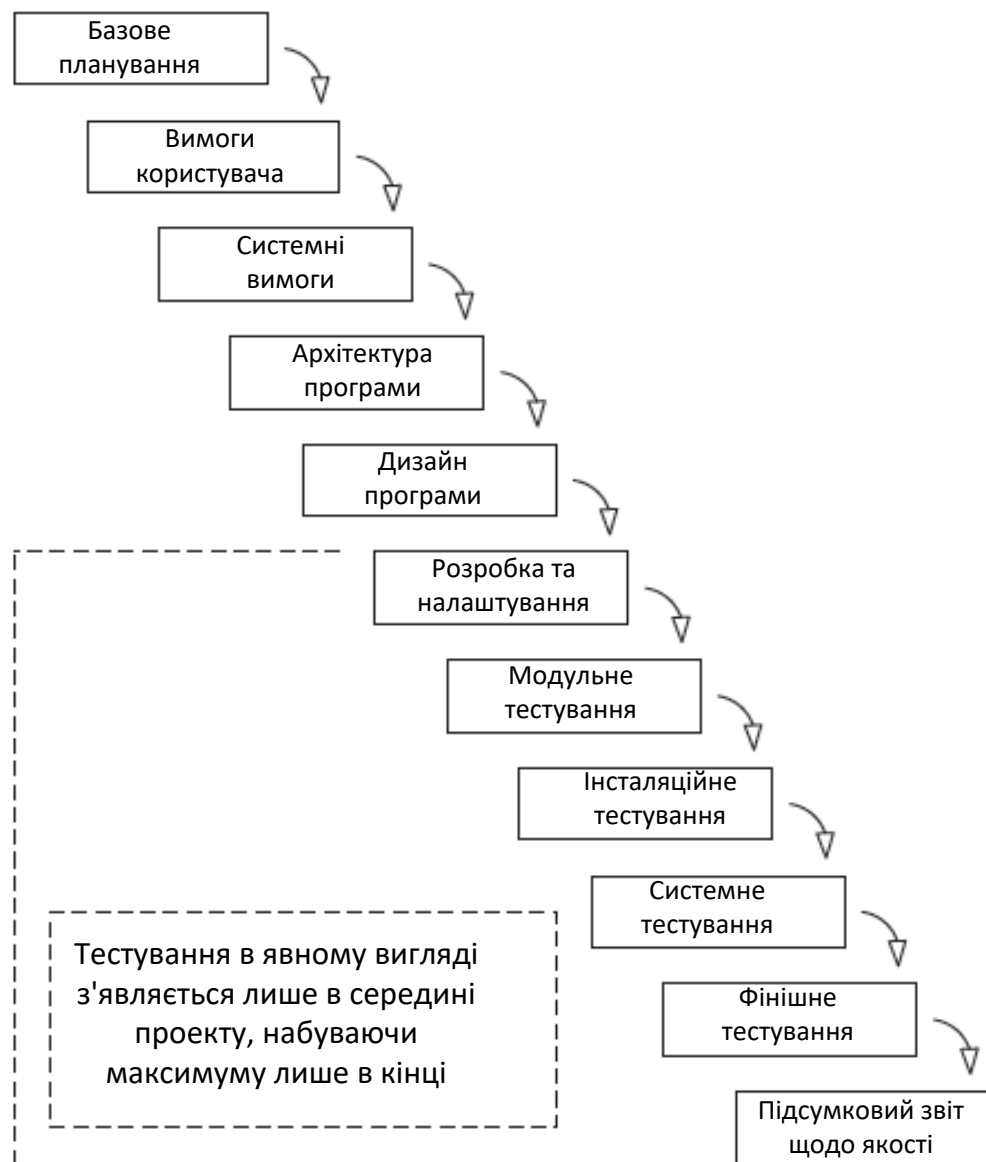


Рисунок 1.6 – Водоспадна модель життєвого циклу

На практиці, виконання робіт за такою жорсткою схемою можна реалізувати лише для досить простих об'єктів, вимоги користувача до яких

можна сформулювати в повному обсязі на початковому етапі ЖЦ. У загальному випадку процес розробки є ітеративним. На кожній фазі ЖЦ можуть вноситися зміни в прийнятті рішення, що приводить до необхідності повернення до попередніх етапів [44].

До основних переваг водоспадної моделі відносяться [43-45]:

- незмінність вимог протягом усього життєвого циклу розробки;
- можливість послідовного усунення виникаючих складнощів;
- формалізованість та зрозумілість етапів моделі, простота використання;
- спрощення можливості здійснення планування, контролю та управління проектом;
- зрозумілість замовниками;
- ефективність для проектів з чіткими та зрозумілими, але важко реалізованими вимогами;
- ефективність для проектів з жорсткими вимогами до якості при одночасній відсутності жорстких обмежень витрат і графіка робіт.

До недоліків водоспадної моделі життєвого циклу відносять [43-45]:

- складність чіткого формулювання вимог на початку життєвого циклу і неможливість їх динамічної зміни на його протязі;
- послідовність лінійної структури процесу розробки, в результаті повернення до попередніх кроків для вирішення виникаючих проблем призводить до збільшення витрат і порушення графіка робіт;
- непридатність проміжного результату для використання;
- неможливість гнучкого моделювання систем, що не мають аналогів;
- пізнє виявлення проблем, у зв'язку з інтеграцією всіх результатів лише наприкінці розробки;
- недостатня участь замовника у створенні об'єкта – тільки на самому початку (при розробці вимог) і в кінці (під час приймальних випробувань);
- неможливість попередньої оцінки якості об'єкта користувачем;

– проблемність фінансування проєкту, пов’язана зі складністю одноразового розподілу великих грошових коштів.

Різновидом водоспадної моделі є V-подібна модель. Дана модель містить ті ж самі стадії що й водоспадна, але деякі з них відбуваються у паралельних площинах, що дозволяє значно заощаджувати часові ресурси. Є можливість оцінки генеруємого об’єкту вже на початкових стадіях, що дозволяє виявити помилки та проблеми на ранніх стадіях процесу розробки. V-подібна модель наведена на рис. 1.7.



Рисунок 1.7 – V-подібна модель життєвого циклу

Ще одна популярна модель ЖЦ була запропонована у 1988 році Баррі Боемом та дістала назви спіралеподібна модель. Вона ґрунтується на класичному циклі Демінга PDCA (plan-do-check-act). При використанні цієї моделі СП створюється у кілька ітерацій (витків спіралі) методом прототипування. Спіральна схема розробки ПЗ представляється у вигляді чотирьох квадрантів, які визначають чотири види діяльності, що виконуються послідовно (рис. 1.8) [46, 47]:

- планування – визначення цілей, варіантів і обмежень;
- аналіз ризику – аналіз варіантів і розпізнавання ризику;

- конструювання – розробка продукту наступного рівня;
- оцінювання – оцінка замовником поточних результатів конструювання.

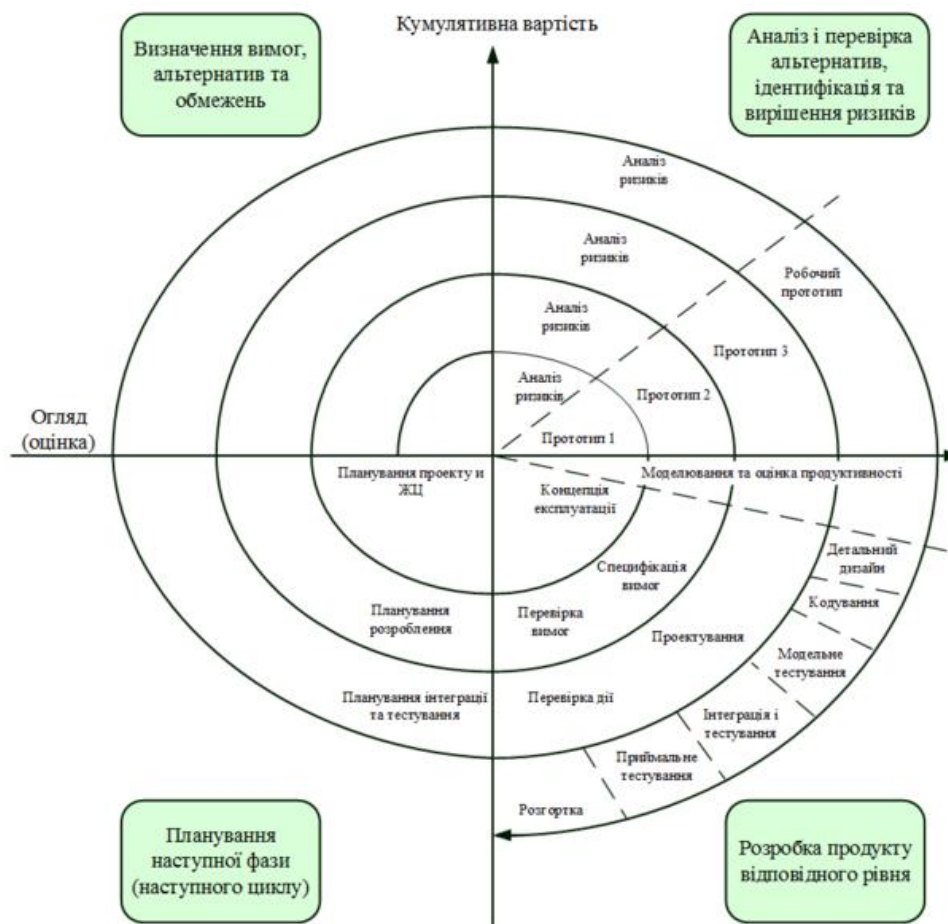


Рисунок 1.8 – Спіральна модель життєвого циклу

Перевагами спіральної моделі є [44-47]:

- максимальна деталізація (у вигляді еволюції) ЖЦ розробки ПЗ, СП та інформаційних систем;
- надає можливість явно врахувати ризики на кожному витку процесу розробки;
- інтегровано стадію системного підходу в ітераційну структуру розробки;
- для зменшення ризику та удосконалення ПЗ, СП або ІС використовує

моделювання.

З точки зору тестування та забезпечення якості спіральна модель приділяє значну увагу ризикам, тому використовує процедуру тестування продовж всього процесу розробки.

Поетапна модель з проміжним контролем (запропонована у 80 – 85-ті рр. XX ст.) – ітераційна модель розробки із циклами зворотного зв'язку між етапами (англ. *iterative and incremental development* – IID), модель ітеративної та інкрементної розробки, еволюційна модель є альтернативою послідовній моделі. Ітеративна модель або інкрементна вважається еволюційною моделлю життєвого циклу. Модель IID передбачає поділ ЖЦ на послідовність ітерацій, кожна з яких являє собою мініпроект і включає всі процеси розробки. Мета кожної ітерації – отримання працездатної версії ПЗ або СП, яка включає функціональність, визначену інтегрованим змістом усіх попередніх та поточної ітерації. Результат фінальної ітерації містить усю необхідну функціональність СП [45-47]. Ітеративна модель ЖЦ наведена на рис. (рис. 1.9).

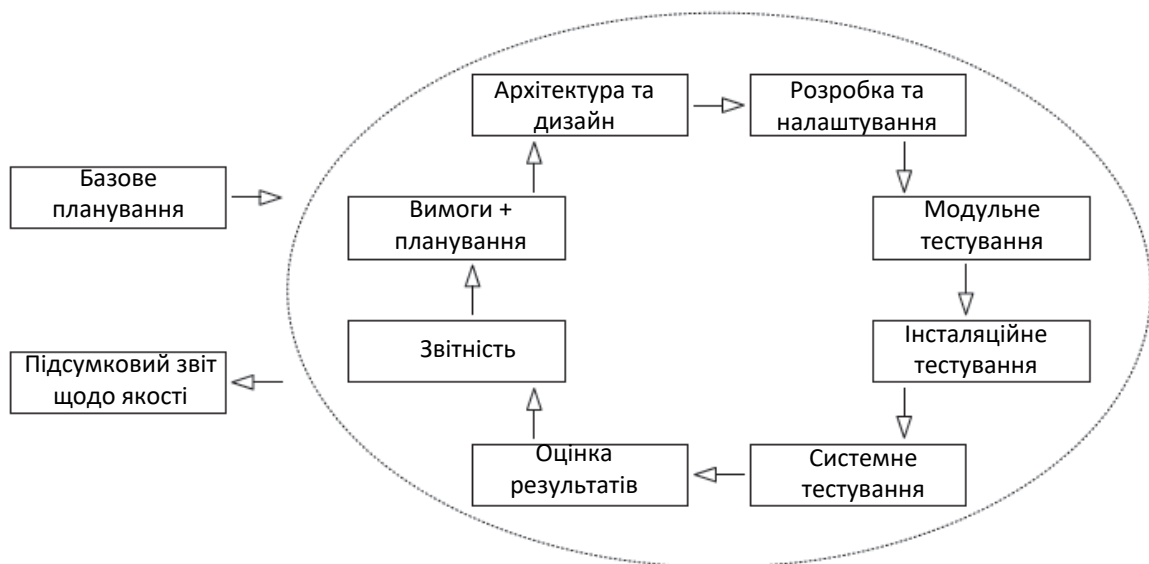


Рисунок 1.9 – Ітеративна модель життєвого циклу

Отже, із завершенням кожної ітерації система отримує приріст – інкремент до її можливостей, що розвиваються еволюційно. Перевага такої моделі полягає в тому, що між етапне коригування забезпечує меншу

трудомісткість порівняно з каскадною моделлю, але час виконання кожного етапу розтягується протягом усього циклу розробки.

Основні переваги ітеративної моделі розробки [46, 47]:

- зниження ризиків – раннє виявлення конфліктів між вимогами, моделями та реалізацією проекту; велике фокусування на основних завданнях; динамічне формування вимог і управління ними.

- організація ефективної системи зворотного зв'язку між командою проекту та замовником/споживачем, створення продукту, який реально відповідає потребам замовника/споживача.

- швидкий випуск мінімально цінного продукту (MVP) і можливість вивести продукт на ринок і почати експлуатацію набагато раніше.

Підхід IID має і свої негативні сторони, які, по суті, зворотний бік переваг. По-перше, цілісне розуміння можливостей та обмежень проекту тривалий час відсутнє. По-друге, при ітераціях доводиться відкидати частину попередньо виконаної роботи.

У табл. 1.1 наведено порівняння розглянутих базових моделей життєвого циклу програмного забезпечення.

Таблиця 1.1 – Порівняння моделей життєвого циклу розробки ПЗ

Модель	Переваги	Недоліки	Тестування та якість
Водоспадна модель	У кожній стадії є конкретний результат; у певний момент часу виконується певна задача; оптимальна для не великих проєктів та задач	Практично не можливо адаптувати під зміни у вимогах. Тривалий процес розробки готового продукту	Відсутнє на початкових етапах, запроваджується лише з середини проєкту
V-подібна модель	У кожній стадії є конкретний результат; тестування запроваджено на кожній стадії;	Не достатня гнучкі та адаптованість. Складність усунення проблем не виявлених на попередніх етапах.	З початку проєкту у точках переходу з етапу на етап.

Продовження таблиці 1.1

Спіральна модель	Гнучка, глибока оцінка ризиків.	Дорога, залежність якості	В ключових точках, а також після реалізації проєкту (контрольне)
Ітеративна модель	Простота, декомпозиція процесу на базові операції та дії	Складність усунення проблем не виявлених на попередніх етапах.	В ключових точках, а також після реалізації проєкту (контрольне)

Для опису такого об'єкта як СП можна застосувати й неklasичну модель ЖЦ, яку запропонувала компанія Gartner. Gartner – компанія, один з лідерів у сфері аналізу, досліджень та консалтингу в ІТ галузі. Їх модель, або методологія (рис. 1.10) – це набір практичних рекомендацій щодо побудови архітектури сучасного підприємства у розрізі тісної інтеграції інфокомунікаційних мереж та сервісів у бізнес-модель компанії [50].

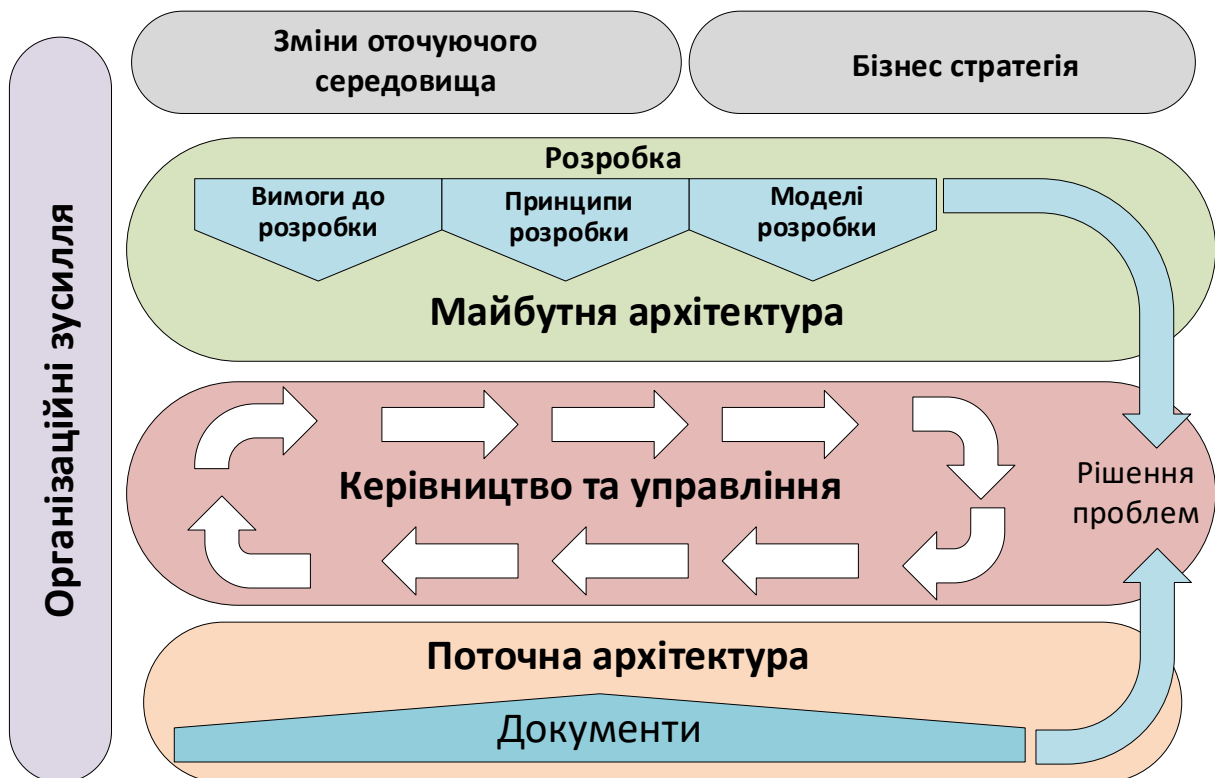


Рисунок – 1.10 Модель Gartner

Фактично можна сказати, що модель Gartner формалізує не сам процес створення СП (тобто не технічну реалізацію), а надає рекомендації щодо стратегії досягнення поставленої мети.

Модель була запропонована у 2002 році. Архітектурно модель Gartner являє собою чотири пов'язаних та взаємозалежних площини, з висхідною складністю [80], а саме:

1. Перша площина – технологічні будівельні блоки (цеглинки – bricks). Об'єкти цієї площини являють собою ресурсну базу – апаратне та програмне забезпечення (сервера, СУБД тощо).

2. Друга площина – шаблони. В межах даної площини відбувається опис використання технологічних будівельних блоків для створення шаблонів, які в свою чергу використовуються для створення моделей опису складових частин об'єкта.

3. Третя площина – бізнес-процеси. Відбувається формалізація та опис бізнес-процесів об'єкта з використанням наявних шаблонів.

4. Четверта площина – середовище бізнес-взаємодії (Business Relationship Grid). Дана площина формалізує модель взаємодії об'єкта з зовнішнім середовищем, їх зв'язки.

Ключовий аспект даної моделі це те, що при створенні об'єкта спрямованого на вирішення певної бізнес-задачі потрібно в першу чергу вирішувати завдання пов'язані зі створенням процесу спрямованого на розвиток та створення оптимальної архітектури об'єкта. Такий підхід можна вважати високорівневим, деталі враховуються, лише тоді, коли без цього не можливо вирішити поточне завдання.

Аналізуючи розглянуті моделі ЖЦ, можна сказати, що досить важко надати перевагу тій чи іншій моделі - кожна з них має свої переваги та недоліки та вибір тієї чи іншої моделі визначається конкретними вихідними умовами задачі. В свою чергу, етапи життєвого циклу (ЖЦ) умовно можна розглядати як самостійні проекти, кожен з яких має свою мету, характеристики, обмеження та результати.

Однак життєвий цикл (ЖЦ) сервісної платформи - 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.

Для СП можна виділити такі етапи ЖЦ (рис. 1.12) [39-48]:

- системні дослідження
- проектування
- експлуатація і технічне обслуговування
- реконфігурація (зміна параметрів ресурсів);
- реконструкція (структурно-параметрична оптимізація);
- утилізація.

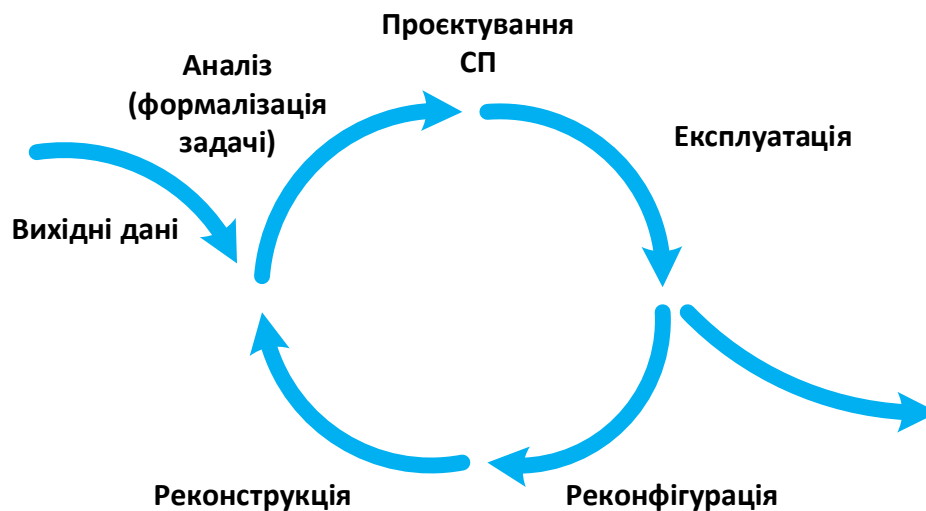


Рисунок 1.11 – Життєвий цикл сервісної платформи

Очевидно, що ключовими етапами є проектування, реконфігурація та реконструкція СП. Етап проектування СП, на думку багатьох фахівців [3, 4, 23], є найважливішою та складною проблемою системного характеру. Важливість цієї проблеми полягає в тому, що саме на стадії проектування

зкладається 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. Складність проблеми, пов'язаної з проєктуванням СП, обумовлена необхідністю врахування та аналізу досить великої кількості факторів (вихідних даних), що впливають на ефективність її вирішення. До основних з них, перш за все, варто віднести такі:

- чисельність та розміщення потенційних користувачів (абонентів) СП, їх вимог до переліку, змісту та якості послуг (Quality of Service, QoS), що надаються СП;

- можливості суб'єкта (компанія, фізична особа), що здійснює проєктування СП;

- обмеження на часові та фінансові ресурси, тощо.

Проблема проєктування СП охоплює цілий комплекс задач структурно-топологічного і функціонального синтезу ресурсної складової СП, системи управління, системи інформаційної безпеки тощо. Вирішення подібних складних за своїм змістом завдань у рамках системного підходу, як правило, здійснюється комплексно: з використанням методів математичного (аналітичного та імітаційного) моделювання отримують рішення у першому наближенні, а для їх перевірки та подальшого уточнення використовують можливості засобів лабораторного експерименту та натурних випробувань. Важливо відзначити, що значення ключових показників якості обслуговування багато в чому залежить від обсягу закладених на етапі проєктування структурних та функціональних ресурсів саме ресурсної складової СП. До таких ресурсів можна віднести доступні маршрути (структурний ресурс), пропускну спроможність (ПС) трактів передачі, буферний ресурс маршрутизаторів мережі (функціональний ресурс) тощо.

Ефективність СП, яка тісно пов'язана з наданням послуг гарантованої якості, визначається складом і результативністю рішень системи управління СП [1, 2]. Особливо це проявляється в умовах обмеженості мережевих ресурсів та

невизначеності характеристик трафіку, що змінюються відповідно до вимог користувачів СП. У подібних умовах важливої ролі набувають стадії реконфігурації та реконструкції (реструктуризації) СП, яка має забезпечувати якісне рішення кола задач зі структурно-параметричної адаптації та управління, тобто задач управління ресурсною базою, пріоритетами, трафіком, маршрутизацією, а за необхідності й структурою платформи. До основних факторів, що призводять до необхідності реконфігурації/реконструкції СП відносять:

- деградацію структури СП через низьку експлуатаційну надійність окремих її елементів або агресивність зовнішнього впливу;
- непередбачена, як правило, стрибкоподібна зміна абонентського навантаження на мережеві компоненти СП;
- погіршення показників якості послуг СП;
- «несанкціонована» зміна параметрів продуктивності мережевих вузлів та пропускної спроможності трактів передачі, обумовлена збоями мережного програмного та апаратного забезпечення;
- апаратна несумісність, зумовлена широким спектром устаткування зв'язку різних виробників, що використовується в сучасних СП (Lucent, Avaya, Nortel, Ericsson, Siemens, Alcatel, Tellabs, Memotec, ECI, RAD, Cisco, Newbridge та ін.);
- технологічну несумісність окремих компонентів СП внаслідок використання різних технологій, які є не сумісними між собою.

Отже, під реконфігурацією/реконструкцією (реструктуризацією) розуміється, перш за все, процес гнучкого реагування на зміну умов функціонування системи шляхом адаптивного управління структурно-функціональними параметрами та характеристиками СП в умовах апріорної невизначеності її стану. Стадії реконфігурації/реконструкції можна розглядати, як адекватну реакцію систем управління на зміни умов функціонування СП. При вирішенні окремих задач реконфігурації/реконструкції (оптимізація маршрутизації, управління ресурсами, пріоритетами та інші) використовується

широкий перелік математичних моделей складових елементів СП. При цьому спостерігається стійка тенденція до ускладнення та розширення інформативності моделей, що використовуються при описі тих чи інших властивостей та характеристик СП. Зараз, при математичному описі задач реконфігурації/реконструкції СП активно використовуються графові моделі, моделі та методи потокового програмування, системи та мережі масового обслуговування, моделі, представлені мережами Петрі та інтегрально-диференціальними (різницеvими) рівняннями стану [3]. У результаті математичного опису процесів реконфігурації/реконструкції СП, як правило, формулюється в тому чи іншому вигляді оптимізаційне завдання, де в якості цільової функції виступають або представлені в узагальненому вигляді вартісні показники, або безпосередньо швидкісні та ймовірно-часові показники якості обслуговування. Як обмеження використовуються умови запобігання перевантаженню окремих елементів СП, а також умови обмеженості ресурсів, доступних у процесі реконфігурації/реконструкції СП. Для вирішення таких завдань застосовуються різні засоби та методи, серед яких, як і раніше, значне місце займають евристичні схеми та комбінаторні методи розрахунку. Паралельно до цього все більше уваги приділяється методам математичного (лінійного та нелінійного) програмування, ігровим методам та методам оптимального управління динамічними системами [2, 3], які змогли різною мірою адаптувати до сучасних вимог щодо формалізації процесів реконфігурації/реконструкції в СП. Однак відомі моделі та методи реструктуризації не забезпечують необхідну системність рішень, не враховують динамічний характер процесів реконфігурації/реконструкції, стохастичність зміни стану СП, а також необхідність розширення переліку структурних та функціональних параметрів та характеристик, за якими відбувається адаптація до умов функціонування СП. Використання таких моделей також не дозволяє належним чином врахувати широкий перелік вимог до якості вирішення задач реструктуризації, що висуваються в ході реалізації правил системної політики, концепцій інжинірингу трафіку, маршрутизації на основі якості

обслуговування, збалансованого завантаження мережі та швидкої пере маршрутизації.

1.3 Аналіз і формування вимог до сервісної платформи

Сервісні платформи є основними складовими компонентами інфраструктури сучасних інфокомунікаційних мереж. Вочевидь, що вимоги до сучасних СП тісно пов'язані з вимогами до інфокомунікаційних послуг. Множина сучасних послуг формується відповідно до таких напрямків розвитку сучасних інфокомунікацій як концепції Інтернет речей, телемедицина, тактильний Інтернет, Розумне місто/будинок, віртуальна та доповнена реальності. Саме вони формують вигляд та зміст сучасних послуг, і відповідно, саме вони й визначають вимоги до сучасних СП.

Концепція Інтернет Речей була сформульована МСЕ у 2010 році у рекомендації Y.2060. Рекомендація Y.2060 визначає поняття Інтернет речей, формує вимоги до них та формалізує еталонну модель Інтернету речей [52]. Під Інтернет речами розуміються об'єкти навколишнього світу (фізичні об'єкти) або інформаційного світу (віртуальні об'єкти). Ці об'єкти мають бути ідентифіковані, а також має бути можливість їх інтеграції в наявні інфокомунікаційні мережі. З цього випливає, що кожна Інтернет річ має задовольняти двом умовам: мати можливість ідентифікації (мати можливість адресації) та мати можливість мережевої взаємодії (мати відповідний інтерфейс). Ці дві умови надають можливість розглядати Інтернет речі як складові елементи сервісних платформ і мереж зв'язку. На додаток, оскільки потенційно ці речі можуть володіти всіма функціями вузлів мережі, вони можуть розглядатися як вузол мережі, і як наслідок - складовий компонент СП. Це створює передумови формування мережевих структур, що мають істотно вищу щільність вузлів, ніж це було раніше. У таких умовах першорядну роль починають набувати моделі та методи вибору структури СП та моделі та методи обслуговування трафіку в таких СП. Концепція IoT формує деякі

додаткові вимоги до СП, які можна формалізувати наступним чином [18, 52-54]:

- кожна Інтернет річ повинна мати можливість підключитись до СП;
- СП повинна забезпечити надання кожному компоненту IoT необхідний їх набір послуг;
- СП повинна мати адаптивну структуру (IoT компоненти можуть динамічно змінювати свій стан та параметри);
- Підтримка великої щільності підключення пристроїв.

Дещо інших принципів дотримується концепція тактильного Інтернету. Суть концепції тактильного Інтернету зводиться до мінімізації затримки передачі даних (надання послуги) між користувачами та СП. Такі міркування в першу чергу визначаються сферою використання тактильного Інтернету – телемедицина, безпілотні транспортні засоби, інтелектуальні системи управління тощо. Вимога до мінімізації затримки передачі даних впливає із специфічних вимог, характерних для перерахованих вище сфер. Загалом ці сфери можна схарактеризувати як сфери з високим ступенем інтерактивності. Іншими словами, для їх реалізації потрібна мінімізація часу реакції СП, тобто потрібно зниження як часу доставки цієї інформації, так і часу доставки результату реакції у відповідь. Характерним прикладом цього є віддалене управління медичним хірургічним роботом, у якому першорядну роль грає своєчасна доставка інформації, що дозволяє передати лікарю, який керує цим роботом реалістичні тактильні відчуття.

Разом з цим, сервісні платформи є складовими компонентами мереж майбутніх поколінь, і відповідно до рекомендації Y.3001 [7] до СП можна сформулювати такі вимоги: різноманітність та універсальність послуг, функціональна гнучкість, віртуалізація ресурсів, доступність, мобільність, надійність та безпека тощо.

Вимоги до сервісної платформи можна записати у вигляді математичної моделі. Нехай X являє собою множину всіх можливих конфігурацій сервісної платформи. Кожна конфігурація $x \in X$ характеризується набором параметрів,

які описують властивості платформи. Наприклад, якщо СП описана такими параметрами як: пропускна здатність $T(x)$: максимальна кількість даних, яку платформа може обробляти або передавати за одиницю часу; розмір буфера $B(x)$: розмір буфера для тимчасового зберігання даних перед обробкою або передачею; енергоспоживання $E(x)$: кількість енергії, яку витрачає платформа для своєї роботи; надійність $R(x)$: Міра надійності платформи, яка відображає ймовірність відмови; затримка $D(x)$: Максимальна допустима затримка для обробки або передачі даних то множину вимог до СП можна записати у вигляді цільової функції $J(x)$, яка може бути сформульована як комбінація цих параметрів, з врахуванням важливості кожного з них у рамках певної задачі.

Наприклад:

$$J(x) = w_1 \cdot T(x) + w_2 \cdot B(x) + w_3 \cdot E(x) - w_4 \cdot R(x) + w_5 \cdot D(x) \quad (1.1)$$

де w_1, w_2, w_3, w_4, w_5 - вагові коефіцієнти, які визначають важливість кожного параметра в загальній цільовій функції. Метою оптимізації може бути мінімізація чи максимізація цільової функції, залежно від конкретних цілей задачі, при деяких обмеженнях:

$$\begin{aligned} g_1(x) &\leq T(x) \leq g_2(x) \\ g_3(x) &\leq B(x) \leq g_4(x) \\ g_5(x) &\leq E(x) \leq g_6(x) \\ g_7(x) &\leq R(x) \leq g_8(x) \\ g_9(x) &\leq D(x) \leq g_{10}(x) \end{aligned} \quad (1.2)$$

де $g_i(x)$ - функції, які визначають обмеження для кожного параметра. Наприклад, $g_1(x)$ і $g_2(x)$ можуть визначати мінімальну і максимальну допустиму пропускну здатність, а $g_3(x)$ і $g_4(x)$ - мінімальний і максимальний розмір буфера.

Таким чином, можна виділити наступні вимоги до сучасних сервісних платформ:

1. *Масштабованість*. Сервісні платформи повинні бути здатні масштабуватися від малих до великих обсягів даних та числа користувачів. Вони повинні бути готовими впоратися зі зростанням навантаження без втрати якості обслуговування.

2. *Надійність та доступність*. Сервісні платформи повинні бути надійними та доступними 24/7. Вони не повинні допускати відмов та повинні мати механізми резервного копіювання та відновлення в разі неполадок.

3. *Продуктивність і мінімізація затримки*. Сервісні платформи повинні забезпечувати високу продуктивність та швидкість обробки запитів. Це важливо для забезпечення низької затримки та високої пропускну здатності.

4. *Безпека*. Захист від несанкціонованого доступу, збереження конфіденційності даних та захист від атак є критично важливими вимогами до сервісних платформ в інфокомунікаціях.

5. *Гнучкість та розширюваність*. Сервісні платформи повинні бути гнучкими та легко розширюватися для інтеграції нових функціональних можливостей та розвитку застосувань.

6. *Підтримка стандартів*. Важливо, щоб сервісні платформи підтримували відповідні стандарти та протоколи, що дозволить їм взаємодіяти з іншими системами та пристроями.

7. *Аналітика та моніторинг*. Сервісні платформи повинні надавати можливості для аналізу даних та моніторингу в реальному часі для виявлення проблем та оптимізації роботи системи.

8. *Забезпечення якості обслуговування (QoS)*. Сервісні платформи повинні забезпечувати контроль та гарантувати виконання параметрів якості обслуговування, таких як затримка, пропускна здатність та доступність.

9. *Екологічна ефективність*. Сучасні вимоги до сервісних платформ також включають аспекти енергоефективності та зменшення викидів для збереження природних ресурсів та довкілля.

10. *Кросплатформленість* (універсальність). Підтримка різноманітних пристроїв і платформ, на яких можуть запускатися застосування, і забезпечення сумісності з ними.

Варто звернути увагу й на особливість формування вимог до сервісних платформ. Унікальною властивістю послуг мереж майбутнього покоління є те, що вимоги до мережевих послуг формуються різними учасниками процесу – споживачами послуг, операторами та провайдерами, державними регуляторами. В деяких випадках, ці вимоги суперечать один одному, що являє собою певну проблему – складно чітко визначити та формалізувати структуру такого об'єкта, в умовах динамічної зміни вимог до його структури та властивостей. З урахуванням того, що саме сервісні платформи виробляють ці послуги, очевидно, що дана проблема стосується й самих сервісних платформ.

1.4 Висновки до 1-го розділу

1. На основі проведеного аналізу можна констатувати, що сервісні платформи є одними з головних компонентів сучасних інфокомунікаційних мереж.

2. Уточнено визначення сервісної платформи, як об'єкта створення та експлуатації, і визначені основні етапи й моделі її життєвого циклу.

3. Проведене дослідження дозволило сформулювати основні вимоги до сучасних сервісних платформ, на базі яких стає можливим створення моделей багатетапної оптимізації таких об'єктів на різних етапах ЖЦ.

2 ПОБУДОВА АДАПТИВНОЇ МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ СЕРВІСНОЇ ПЛАТФОРМИ ВПРОДОВЖ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ

2.1 Сервісна платформа як об'єкт адаптації

Сервісні платформи є фундаментальною складовою інфокомунікацій сучасного світу. Вони надають інфраструктуру для розробки, розгортання та управління різноманітними застосуваннями та послугами. Однак, середовище, в якому функціонують сервісні платформи, постійно змінюється, що вимагає їх адаптації для забезпечення ефективності та надійності функціонування.

Сервісні платформи відіграють критичну роль у забезпеченні функціональності та ефективності інфокомунікаційних систем. Вони дозволяють розробникам створювати додатки та послуги, які можуть працювати на різних пристроях і взаємодіяти один з одним через мережу.

Сервісні платформи також забезпечують абстракцію від конкретних деталей інфраструктури, що дозволяє розробникам концентруватися на функціональності додатків, а не на деталях розгортання та управління.

Адаптація сервісних платформ є необхідною у зв'язку з постійними змінами у вимогах та умовах функціонування. Ключові аспекти адаптації включають [55, 56]:

- *Масштабування.* Сервісні платформи повинні бути здатні масштабуватися відповідно до зростаючих навантажень. Автоматичне розширення ресурсів може бути важливим аспектом адаптації.
- *Оновлення і розвиток.* Платформи повинні підтримувати оновлення та розширення функціональності без відключення від обслуговування.
- *Автоматизація.* Використання автоматичних засобів для виявлення та вирішення проблем, що допомагає зменшити людський вплив на процеси адаптації.
- *Гнучкість і конфігурованість.* Можливість змінювати параметри та конфігурацію платформи без необхідності її повної зупинки.

Загальна модель адаптації для сервісної платформи може включати кілька основних етапів і процесів, які допомагають забезпечити ефективну адаптацію до змінних умов, а саме:

1. *Моніторинг та аналіз*. Перший етап містить постійний моніторинг параметрів та стану сервісної платформи. Це може включати в себе збір метрик продуктивності, стану системи, використання ресурсів та іншої інформації, яка допомагає визначити потребу в адаптації. Аналіз отриманих даних допомагає визначити тенденції та прогнозувати можливі проблеми або зміни.

2. *Визначення стратегії адаптації*. На основі аналізу даних моніторингу розробляється стратегія адаптації. Ця стратегія повинна містити рекомендації щодо конкретних дій, які необхідно вжити для забезпечення ефективної адаптації. Вона також може містити призначення відповідальності за виконання конкретних завдань з адаптації.

3. *Виконання адаптації*. На цьому етапі виконуються конкретні дії згідно зі стратегією адаптації. Він може охоплювати:

- Зміни конфігурації. Зміна параметрів платформи, таких як пропускна здатність, розмір буфера або кількість резервних копій.
- Оновлення програмного забезпечення. Встановлення нових версій програм та патчів для виправлення помилок та підвищення безпеки.
- Масштабування. Збільшення чи зменшення ресурсів відповідно до поточного навантаження.
- Резервне копіювання і відновлення. Забезпечення можливості відновлення в разі відмови або аварії.

4. *Тестування та валідація*. Після внесення змін необхідно провести тестування та валідацію, щоб переконатися, що адаптація не вплинула негативно на якість обслуговування та продуктивність. Це може містити тестування на стійкість, виконання тестових сценаріїв та перевірку забезпечення якості обслуговування.

5. *Моніторинг після адаптації.* Після внесення змін важливо продовжувати моніторинг параметрів та стану сервісної платформи для виявлення можливих проблем або несподіваних змін.

6. *Цикл адаптації.* Адаптація - це постійний процес, і цей цикл повинен повторюватися регулярно, оскільки умови та вимоги можуть змінюватися з часом. Ця загальна модель адаптації може бути адаптована до конкретних потреб інфокомунікаційних систем та сервісних платформ, і вона допомагає забезпечити ефективну реакцію на зміни та зберегти високу якість обслуговування.

Загальна математична модель адаптації сервісної платформи може бути сформульована наступним чином: нехай X - множина можливих конфігурацій сервісної платформи. Кожна конфігурація $x \in X$ характеризується набором параметрів, що описують властивості платформи. Метою адаптації є знаходження такої конфігурації x^* , яка мінімізує або максимізує обрану цільову функцію $J(x)$, при певних обмеженнях:

$$x^* = \arg \min_{x \in X} J(x)$$

або

$$x^* = \arg \max_{x \in X} J(x)$$

при обмеженнях, які можуть бути виражені наступним чином:

$$g_i(x) \leq 0, i=1, 2, \dots, m$$

$$h_j(x) = 0, j=1, 2, \dots, p$$

де $g_i(x)$ - обмеження нерівності, які визначають обмеження на параметри конфігурації, $h_j(x)$ - обмеження рівності, які визначають обов'язкові умови для параметрів конфігурації.

Цільова функція $J(x)$ може бути виражена як лінійна чи нелінійна функція параметрів конфігурації:

$$J(x) = f(x)$$

де $f(x)$ - функція, яка відображає обрані характеристики, які ми намагаємося оптимізувати (наприклад, продуктивність, надійність, вартість тощо).

Математична модель адаптації може також включати обмеження на зміни параметрів конфігурації між послідовними адаптаціями, щоб уникнути частого переключення параметрів. Ця загальна математична модель дозволяє формалізувати процес адаптації сервісної платформи та визначити оптимальну конфігурацію з урахуванням обмежень та цільової функції.

Метою роботи є розробка адаптивної моделі сервісної платформи, яка дозволяє послідовно вирішувати задачу оптимізації її параметрів і характеристик відповідно до вимог до їх зміни на всіх етапах її життєвого циклу під впливом змін зовнішнього середовища та вимог користувачів сервісу.

Адаптацію в цьому випадку будемо визначити як процес цілеспрямованої зміни параметрів та структури сервісної платформи, що базується на послідовному визначенні критеріїв її функціонування та шляхів досягнення цих критеріїв. Як бачимо, чітко визначеної вимоги оптимізації за тим чи іншим критерієм не існує, а складні системи (такі як сервісна платформа), як правило, не мають єдиного критерію функціонування.

2.2 Побудова моделі морфологічного опису сервісної платформи

Сервісна платформа – об'єкт зі складною структурою, множиною зв'язків та законів функціонування, а отже вона, може бути представлена у вигляді складної системи й описана з позицій системного підходу.

Опис сервісної платформи, як об'єкта адаптації та оптимізації, доцільно здійснювати з позицій її морфологічного та функціонального опису [57, 58].

Розглядаючи сервісну платформу SP на рівні чорного ящика (визначені входи та виходи об'єкта), її можна представити так:

$$SP: F(I) \rightarrow H, \quad (2.1)$$

Розшарування системи можливе, якщо множини входів I та виходів H утворюють декартів добуток, тобто деякий вхід I_i та вихід H_i утворюють два незалежні базиси:

$$I = (I_1 \times I_i \dots I_n); H = (H_1 \times H_i \dots H_m), \quad (2.2)$$

де n - кількість входів, а m - кількість виходів. Сервісна платформа SP може бути представлена у вигляді підсистем за допомогою наступних формул:

$$\begin{aligned} \text{SPS1: } & I_1 \times V_1 \times H_1; \\ \text{SPSi: } & I_i \times D_i \times V_i \times H_i; \\ \text{SPSn: } & I_n \times D_n \times H_n; \\ & n = \min(n, m) \end{aligned} \quad (2.3)$$

де D , V - відповідно низхідний та висхідний потоки, які забезпечують взаємодію між шарами.

Морфологічна модель описує об'єкт з позицій стратифікованого підходу, запропонованого М. Месаровичем, з виконанням вертикальної і горизонтальної декомпозиції (складу та взаємозв'язку між її складовими елементами) [57, 58]. Тобто, модель морфологічного опису СП надає опис її структури, типів елементів та взаємозв'язків між її складовими елементами, взаємного розташування елементів страт стосовно один одного (рис. 2.1).

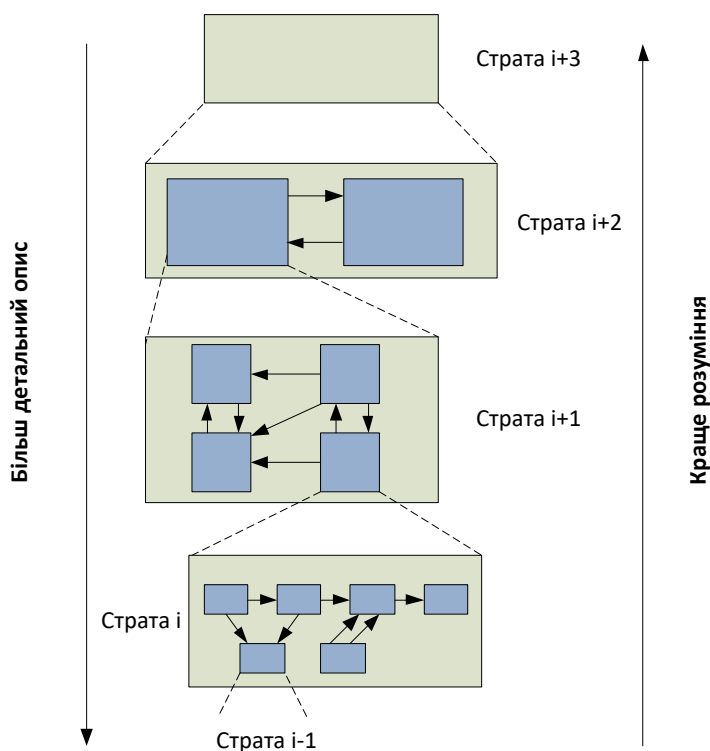


Рисунок 2. 1 – Взаємозв'язок між стратами

Визначення страт декомпозиції системи та їх розташування може здійснюватися довільно або за якимось певним критерієм. Так в [39] в якості критерія декомпозиції для побудови морфологічної моделі застосовано напрямки зв'язку між кінцевими комутаційними станціями користувача і комутаційними станціями центру інтелектуальних послуг.

З точки зору системного підходу сервісну платформу можна формалізувати у наступному загальному вигляді [58-62]:

$$SP: F(X) \rightarrow Y. \quad (2.4)$$

Даний запис означає – сервісна платформа SP виконує функціональне перетворення множини входів X у множину виходів Y .

В [57] доведено, що 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_j утворюють два незалежних базиси:

$$X = (X_1 \times X_2 \dots X_n); Y = (Y_1 \times Y_2 \dots Y_m); \quad (2.5)$$

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

$$\begin{aligned} SP_1 &: X_1 \times U_1 \times Y_1; \\ SP_i &: X_i \times D_i \times U_i \times Y_i; \\ SP_n &: X_n \times D_n \times Y_n; \\ n &= \min(n, m) \end{aligned} \quad (2.6)$$

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 :

$$\begin{aligned} h_i &: Y_i \rightarrow U_{i+1}; \\ c_i &: Y_i \rightarrow D_{i-1}; \\ 1 &\leq i \leq n. \end{aligned} \quad (2.7)$$

такі, що:

$$\begin{aligned}
 y_n &= SPS_n(x_n, h_{n-1}(y_{n-1})), \\
 y_i &= SPS_i(x_i, c_{i+1}(y_{i+1}), h_{i-1}(y_{i-1})), \\
 y_n &= SPS_1(x_1, c_2(y_2)), \\
 \forall x \in X, y &= SPS(x), 1 \leq i \leq n.
 \end{aligned}
 \tag{2.8}$$

Відображення h_i та c_i називають, відповідно, інформаційною функцією та розподільчою функцією i -ої страти, які пов'язують страти між собою.

Використовуючи стратифікацію, сервісну платформу можна розглядати з різних аспектів (страт). Під час розробки моделі морфологічного опису постає питання про кількість страт, які необхідно виділити. М. Месарович, засновник стратифікованого підходу, стверджує, що вибір страт, в розрізі яких буде перебувати об'єкт дослідження, залежить від самого дослідника, його знань та цілей дослідження [57], тобто експертний метод вирішення цієї проблеми є основним.

Отже, кількість страт визначається лише межами питання що вирішується, або, взагалі, власним розсудом науковця, який проводить дослідження. Загальна модель морфологічного опису сервісної платформи в вигляді множини страт наведена на рис. 2.2.

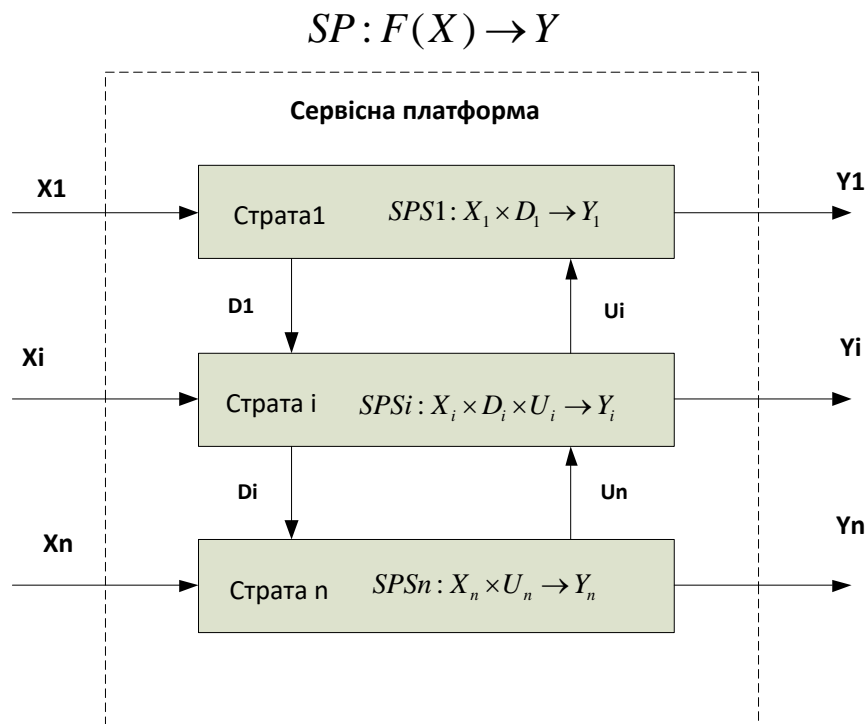


Рисунок 2. 2 – Загальна модель морфологічного опису сервісної платформи

В роботах [63, 64] сформовано базові принципи створення морфологічно-праксеологічної моделі мережі. Автори формують модель морфологічного опису мережі з точки зору ресурсної бази – мережа представляється у вигляді множини ресурсів, необхідних для забезпечення її сталої та ефективної роботи. Запропонована у [63, 64] декомпозиція на страти (виділено лише дві страти – ресурсна та функціональна) дозволяє підвищувати ефективність системи шляхом її оптимізації на всіх етапах її життєвого циклу, але запропонована стратифікація не враховує декількох важливих аспектів, наприклад питань інформаційної безпеки, особливостей технологічного процесу виробництва послуг різного типу, економічні показники також враховують в не повному обсязі. Беручи до уваги цей факт для створення моделі морфологічного опису сервісної платформи пропонується ввести чотири страти, а саме:

- Ресурсна страта;
- Технологічна страта;
- Страта інформаційної безпеки;
- Економічна страта.

Ресурсна страта описує сервісну платформу з точки зору ресурсів, які необхідно залучити у процесі виробництва та надання мережевої послуги відповідної якості. На ресурсній страті визначається перелік усіх типів ресурсів, що можуть бути залучені у цьому процесі. Очевидно, що ресурси є різнотипними, тому пропонується розділити їх на групи, а саме:

- апаратні ресурси;
- програмні ресурси;
- економічні ресурси;
- технологічні ресурси;
- людські ресурси.

Технологічна страта описує сервісну платформу з точки зору особливостей технологічного процесу виробництва та надання послуг. На даній страті визначаються технології та принципи побудови сервісної платформи, враховуються вимоги щодо якості послуг.

Страта інформаційної безпеки описує сервісну платформу з точки зору забезпечення необхідного та достатнього рівня інформаційної безпеки, вказує які технології, методи та методики можуть застосовуватися, на які ресурси вони спираються.

Економічна страта описує сервісну платформу з точки зору економічної ефективності, доцільності її створення, експлуатації чи реконфігурації.

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. Тобто створення ефективної сервісної платформи передбачає побудову адаптивної моделі, яка дозволяє оптимізувати її на всіх етапах життєвого циклу.

Для створення моделей морфологічного опису сервісних платформ достатньо розглянути їх на першому та другому рівнях. Це завдання можна формалізувати в термінах теорії графів наступним чином [65, 66].

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 (рис. 2.3).

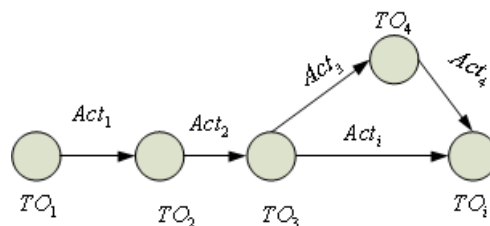


Рисунок 2.3 – Графік технологічного процесу

Відповідно до кожної технологічної операції на першій страті визначаємо склад ресурсів, залучених у її виконанні, який можна представити у вигляді ієрархічного багаторівневого неорієнтованого графа $G^*(N_i^*, E^*)$ [66], що безпосередньо відображає модель морфологічного опису сервісної платформи

СП, тобто склад її елементів та зв'язки між ними (рис. 2.4). Множині вершин $\{N_i^*\}$ графа $G^*(N_i^*, E^*)$ відповідають елементи страт.

На першій страті ієрархії множині N_1^* , з потужністю k , відповідають елементи страти, яка розглядає сервісну платформу 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 сервісну платформу 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. У цьому випадку вершини множини N_3^* представлені однією вершиною, яка відображає саму платформу SP^* , але їх може бути декілька.

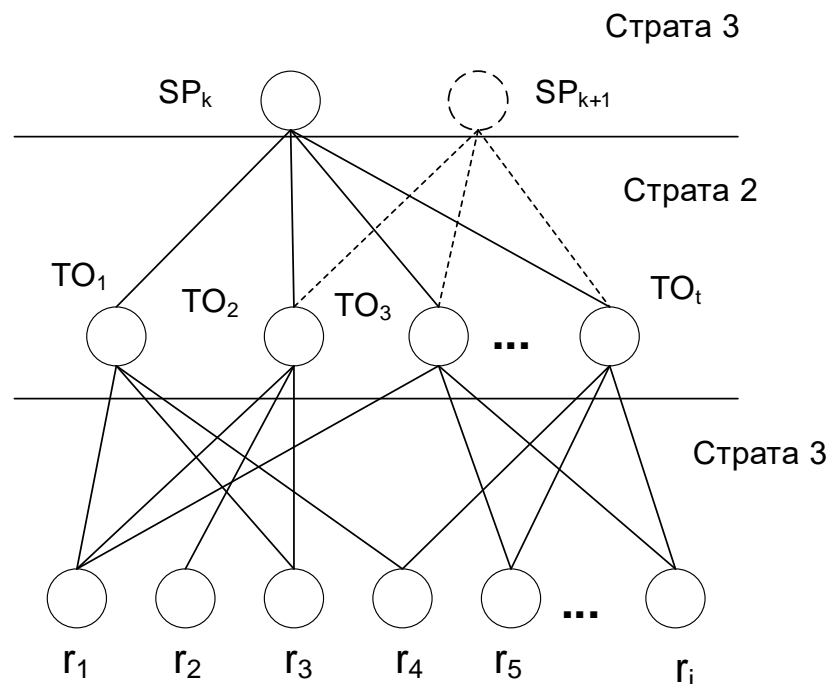


Рисунок 2.4 – Модель морфологічного опису сервісної платформи у вигляді багат шарового графа

Множина ребр E^* графа відображає множину зв'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^* .

2.3 Побудова моделей функціонального опису оптимізації сервісної платформи впродовж життєвого циклу

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 [67]. Раціональним способом формування функціонального опису об'єкта дослідження є застосування ієрархії функціональних описів, в якій елементи вищого рівня будуть залежати від узагальнених та факторних змінних нижчого рівня.

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

Для створення функціонального опису сервісної платформи пропонується застосувати шість епістемологічних рівнів.

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

$$\bar{C}: \begin{cases} C_{11}, C_{12}, \dots, C_{1n} \\ C_{21}, C_{22}, \dots, C_{2n} \\ \dots \\ C_{k1}, C_{k2}, \dots, C_{kn} \end{cases}, \quad (2.9)$$

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 життєвого циклу сервісної платформи, ці значення можуть

бути отримані шляхом вимірювання, аналізу статистики або визначення за бажанням.

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

$$\varphi(C) \leq 0 \quad (2.10)$$

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

$$\bar{Y}: \begin{cases} f: C_1 \rightarrow Y_1 \\ f: C_2 \rightarrow Y_2 \\ \dots \\ f: C_p \rightarrow Y_p \end{cases} \quad (2.11)$$

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

$$\varphi_Y(C) \leq 0 \quad (2.12)$$

На п'ятому епістемологічному рівні формуються цільові функції, які відображають бажаний рівень продуктивності сервісної платформи, наприклад, на відповідному етапі її життєвого циклу:

$$Y = F(\bar{Y}) \rightarrow \text{extr} \quad (2.13)$$

Модель функціонального опису сервісної платформи надає можливість формалізувати задачі її оптимізації. На початковому етапі життєвого циклу це відповідає побудові формалізованої математичної моделі оптимального проектування, яка передбачає пошук оптимальної структури та значень параметрів цільового об'єкта. Однак на етапі технічної експлуатації сервісної платформи, під впливом непередбачуваних факторів зовнішнього середовища та самого об'єкта, підтримка оптимального стану об'єкта неможлива без впливу системи управління. Вплив системи управління в даному випадку передбачає

використання матриць коефіцієнтів, які визначають вимоги та характер зміни параметрів об'єкта. Зазначені матриці коефіцієнтів повинні формуватися системою управління на основі даних, отриманих від системи моніторингу стану об'єкта [68, 69]. Врахування цього ефекту у формалізованому математичному описі оптимального стану об'єкта передбачає забезпечення можливості його параметричної та структурної оптимізації протягом усього життєвого циклу. 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. Реконфігурація та реконструкція є циклічним процесом, який триває в часі до моменту виведення сервісної платформи з експлуатації.

Підсумовуючи вищесказане, можна констатувати, що сервісна платформа є складним об'єктом, оптимізація якого в умовах зміни його впливів еквівалентна процесу адаптації, для реалізації якого необхідно мати адекватну модель об'єкта.

Оптимізаційну модель сервісної платформи, як об'єкта адаптації, в межах конкретного етапу її життєвого циклу T , будемо називати адаптивною моделлю [55, 68].

На етапі проектування оптимальний стан об'єкта досягається шляхом знаходження значень основних змінних, які задовольняють заданим обмеженням і забезпечують екстремум цільової функції, тобто:

$$\begin{aligned} Y &= F(\bar{Y}) \rightarrow \text{extr} \\ F(X, Y) \cdot \|a_{ij}\| & \\ \varphi_Y(X) &\leq 0 \\ \varphi_X(X) &\leq 0 \end{aligned} \quad (2.14)$$

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:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x_{ij} \text{ береться до уваги} \\ 0, & \text{у протилежному випадку} \end{cases} \quad (2.15)$$

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

Оскільки об'єкт на цьому етапі статичний, ми отримуємо задачу математичного програмування.

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

$$\begin{aligned} Y = F(\bar{Y}) &\Rightarrow \psi(X \cdot U(t)) \rightarrow \text{extr} \\ F(X \cdot U(t), Y) &\cdot \|a_{ij}\| \\ \varphi_Y(X \cdot U(t)) &\leq 0 \\ \varphi_X(X \cdot U(t)) &\leq 0 \\ 0 \leq t &\leq T \end{aligned} \quad (2.16)$$

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

$$\begin{aligned} Y = F(\bar{Y}) &\Rightarrow \psi(X \cdot U(t)) \rightarrow \text{extr} \\ \Omega(X \cdot U(t), Y) &\cdot \|a_{ij}\| \\ \varphi_Y(X \cdot U(t)) &\leq 0 \\ \varphi_X(X \cdot U(t)) &\leq 0 \\ 0 \leq t &\leq T \end{aligned} \quad (2.17)$$

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

Завдання реконфігурації та реконструкції виконуються циклічно протягом життєвого циклу T і можуть бути реалізовані на основі наявних методів оптимізації. Рішення про необхідність реконфігурації або реконструкції сервісної платформи приймається за результатами роботи системи управління. Система управління контролює показники якості сервісної платформи та на основі когнітивного моніторингу [70, 71] приймає рішення про необхідність реконфігурації або реконструкції сервісної платформи.

2.4 Висновки до 2-го розділу

1. Проведене дослідження дає основу для ствердження, що сервісні платформи являють собою інфраструктуру для розробки, розгортання та управління різноманітними застосуваннями та послугами, однак, середовище в якому вони функціонують постійно змінюється, що вимагає відповідної адаптації для забезпечення їх ефективності та надійності протягом життєвого циклу. Отже, сервісна платформа визначена як об'єкт адаптації. Адаптацію в цьому випадку визначено як процес цілеспрямованої зміни параметрів та структури сервісної платформи, що базується на послідовному визначенні критеріїв її функціонування та шляхів досягнення цих критеріїв.

2. Доведено, що побудова адаптивної моделі багатоетапної оптимізації сервісної платформи впродовж життєвого циклу ґрунтується на методології системного аналізу, що передбачає побудову моделей її морфологічного і функціонального опису.

3. Побудову моделей морфологічного опису сервісної платформи виконано на основі стратифікованого підходу Месаровича. В якості основних страт визначені: ресурсна страта; технологічна страта; страта інформаційної безпеки; економічна страта.

4. Розроблені моделі функціонального опису багатоетапної оптимізації сервісної платформи впродовж життєвого циклу.

3 РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ БАГАТОЕТАПНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ СЕРВІСНОЇ ПЛАТФОРМИ

3.1 Визначення фаз загального адаптаційного процесу на різних етапах життєвого циклу

Сервісна платформа є одним з ключових компонентів інфокомунікацій, яка функціонує в умовах зовнішнього середовища, що постійно і динамічно змінюється. Постійні зміни зовнішнього середовища здійснюють вплив на характеристики, структуру та траєкторію функціонування сервісної платформи. Беручи до уваги той факт, що ці впливи відбуваються на постійній основі, сервісна платформа зазнає змін на усіх своїх етапах життєвого циклу. Зрозуміло, що в таких умовах вирішувати задачі з оптимізації сервісної платформи на таких етапах як проєктування, реконфігурація та реконструкція на базі статичних моделей і методів практично не можливо. Сервісна платформа, як складний об'єкт, який функціонує в умовах зовнішнього середовища, що динамічно змінюється і для досягнення оптимальних характеристик необхідно застосовувати адаптацію.

В загальному випадку, адаптація – це процес цілеспрямованої зміни параметрів та/або структури сервісної платформи під впливом системи управління (зовнішнього середовища), який відбувається шляхом визначення критеріїв її функціонування, що підлягають зміні та досягненню змін цих критеріїв [55, 67, 68]. Як правило, адаптація не має якоїсь однієї, чітко визначеної вимоги або критерію оптимізації, це залежить від динамічності змін зовнішнього середовища і впливу системи управління. Сервісна платформа функціонує у середовищі, що постійно змінюється, тому доцільно говорити про багатокритеріальну оптимізацію. Відповідно до цього, процес адаптації буде проводитись за декількома критеріями одночасно, вибір яких буде визначатись як поточним станом зовнішнього середовища, так і внутрішніми потребами самої сервісної платформи.

Сервісна платформа, як складний об'єкт, який потребує адаптації на різних етапах свого життєвого циклу, характеризується:

- Нестационарністю, яка проявляється зміною характеристик СП під впливом непередбачуваності змін зовнішнього середовища.
- Динамічністю зовнішнього середовища, що проявляється у вигляді постійної зміни вимог користувача до СП;
- Мультиваріантністю, що проявляється у необхідності множини можливих варіацій як параметрів, так і структури СП.

Адаптація, як процес пристосування СП до динамічних змін зовнішнього середовища, використовуються на постійній основі протягом усіх етапів ЖЦ СП [75]. Як вже було зазначено у главі 1, основний етап ЖЦ СП це проектування. Даний етап є надскладним, бо саме на стадії проектування 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. Проблема проектування СП охоплює цілий комплекс задач структурно-топологічного і функціонального синтезу ресурсної складової СП, системи управління, системи інформаційної безпеки тощо. Складність проблеми, пов'язаної з проектуванням СП, обумовлена необхідністю врахування та аналізу досить великої кількості факторів (вихідних даних), що впливають на ефективність її вирішення. Але це досить складно зробити, через те що нам достовірно не відомі умови функціонування зовнішнього середовища.

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

$$Q(U) = \int q(X, Y) p(X) dX \quad (3.1)$$

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

$$Q(U) = \int q(X, F(X, U)) p(X) dX \quad (3.2)$$

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

Але в реальних умовах в нас відсутня інформація про моделі середовища та об'єкта, а отже задача оптимізації 3.1 в умовах зміни параметрів об'єкта U повинна вирішуватись лише на базі спостережень щодо зміни станів X та Y . Також варто відзначити те, що вимоги до проєктованого об'єкта (сервісної платформи) визначаються здебільшого користувачами.

В розрізі вище сказаного, можна сказати, що адаптація на етапі проєктування повинна бути спрямована на мінімізацію критеріїв оптимізації. І в цьому контексті застосовуються терміни не оптимальний проєкт, а «достатній», «кращій» або «квазіоптимальний». Такий підхід дозволяє використовувати евристичні методи рішення задач проєктування і застосовувати адаптацію. Разом з цим потрібно відзначити те, що саме неможливість знайти оптимальне рішення щодо структури та характеристик СП на етапі проєктування, в умовах невизначеності та динамічних змін зовнішнього середовища й породжує необхідність здійснювати адаптацію на інших етапах життєвого циклу СП. Будь-яке проєктування є недосконалим через неточні або нестачу знань щодо характеристик середовища, в якому буде функціонувати об'єкт. Модель об'єкта створена в таких умовах буде наближеною, а не точною, а це вже передбачає адаптацію. Крім того, зміна середовища в якому функціонує об'єкт або зміна вимог до об'єкта у процесі проєктування також потребують адаптації. Ці фактори обумовлюють адаптацію на етапі проєктування, що дозволяє спростити сам процес проєктування, а це призведе до зменшення витрат фінансових та часових витрат на його реалізацію.

Недосконалість результату отриманого на етапі проєктування призводить до того, що під час подальшої експлуатації виникає необхідність провести адаптацію СП до нових вимог користувачів або до змін зовнішнього середовища. Це відбувається на етапах реконфігурації та/або реконструкції СП.

Реконфігурація/реконструкція (реструктуризація) передбачає гнучке реагування на зміну умов функціонування СП шляхом адаптивного управління структурно-функціональними параметрами та характеристиками СП в умовах апріорної невизначеності її стану. Стадії реконфігурації/реконструкції можна розглядати, як адекватну реакцію систем управління на зміни умов функціонування СП. При вирішенні окремих задач реконфігурації/реконструкції (оптимізація маршрутизації, управління ресурсами, пріоритетами та ін.) використовується широкий перелік математичних моделей складових елементів СП. У результаті математичного опису процесів реконфігурації/реконструкції СП, як правило, визначається в тому чи іншому вигляді оптимізаційне завдання, де в якості цільової функції виступають або представлені в узагальненому вигляді вартісні показники, або безпосередньо швидкісні та ймовірно-часові показники якості обслуговування. Адаптація на етапах реконфігурації та реконструкції пов'язана з необхідністю корегування параметрів об'єкта. Необхідність подібних корегувань обумовлюється, як вже зазначено, недосконалістю результатів етапу проектування та динамічними змінами вимог до об'єкта з боку користувачів та змінами зовнішнього середовища.

Адаптація об'єкта за рахунок зміни його параметрів, у термінах загальної теорії адаптації [55, 71] називається параметричною оптимізацією. Джерелом такої оптимізації є система управління, яка аналізує поточний стан об'єкта управління та його оптимальний стан, у випадку виявлення розбіжностей генерується керуючий вплив, який задає вектор адаптації, тобто визначає які саме характеристики СП деградували або зазнали змін. З формальної точки зору, система управління генерує вектор параметрів:

$$U = (u_1, \dots, u_n), \quad (3.3)$$

де кожен параметр може мати кінцеве або нескінченне число значень:

$$\begin{aligned} U \in S \subset R^q, \\ U \in S = D \end{aligned} \quad (3.4)$$

де, R^q – нескінченна множина потенційних значень, D – дискретна множина.

У відповідь на керуючий вплив, розпочинається процес параметричної адаптації, мета якої знайти таке значення параметрів, щоб повернути об'єкт до оптимальної траєкторії експлуатації. У випадку, коли за рахунок адаптації параметрів об'єкта його не можливо повернути до оптимальної траєкторії експлуатації виникає питання зміни його структури, тобто питання реконструкції.

Адаптація на етапі реконструкції має на меті таку зміну структури об'єкта, щоб повернути його на оптимальну траєкторію експлуатації. Очевидно, що структурна адаптація виникає тоді, коли відновити оптимальну траєкторію експлуатації об'єкта лише за рахунок зміни деяких його параметрів не можливо. При структурній адаптації вплив системи управління можна представити у вигляді парного кортежу:

$$U = \langle W, C \rangle, \quad (3.5)$$

де W – це структурний фактор, а C – пов'язані зі структурним фактором параметри адаптації $C = (c_1, \dots, c_k)$.

Структурну адаптацію розділяють на альтернативну та еволюційну. У випадку альтернативної структурної адаптації генерується множина альтернативних структур, які потенційно повертають об'єкт до оптимальної траєкторії. Як правило множина альтернативних структур має не великий розмір.

Еволюційна структурна адаптація ґрунтується на принципах природних алгоритмів. Ідея полягає в наступному – в існуючу структуру додаються незначні зміни, далі оцінюється результат, якщо він незадовільний, процес повторюється до тих пір, поки не буде отримана структура, яка повертає об'єкт на оптимальну траєкторію експлуатації.

Слід зазначити, що окрім структурної та параметричної адаптації та адаптації на етапі проектування можливий ще один тип адаптації, а саме адаптація процесу управління.

Підсумовуючи, можна зазначити, що адаптація це неперервна задача, яка вирішується протягом усіх етапів життєвого циклу СП. Необхідність адаптації

зумовлена тим фактором, що в умовах відсутності чіткої формалізації вимог до СП та при наявності динамічних змін зовнішнього середовища, на етапі проєктування не можливо сформувати оптимальну структуру сервісної платформи. В таких умовах створюється квазіоптимальне рішення, яке в процесі подальшої експлуатації адаптується під нові вимоги та умови. Враховуючи це можна формалізувати наступну, узагальнену модель процесу адаптації СП – нехай об'єкт SP (сервісна платформа) буде функціонувати в середовищі, стан якого X безпосередньо впливає на стан самого об'єкта Y . При цьому стан об'єкта Y може змінюватись під впливом системи управління, яка генерує вектор параметрів адаптації $U = (u_1, \dots, u_n)$. Ціллю адаптації є формування вимог до критеріїв, які визначені для стану об'єкта Y . Залежно від типу критерію, вимоги можуть мати різний характер:

- Критерії-нерівності ІС (inequality criteria's):

$$IC(U) = (ic_1(U), \dots, ic_p(U)) \geq 0 \quad (3.6)$$

- Критерії-рівності ЕС (equality criteria's):

$$EC(U) = (ec_1(U), \dots, ec_p(U)) = 0 \quad (3.7)$$

- Критерії-екстремуми ЕХС (extremum criteria's):

$$EXC(U) = (exc_1(U), \dots, exc_p(U)) \rightarrow ext \quad (3.8)$$

де

$$ic_i(U) = M_r ic_i'(Y) = M_r ic_i'(SP(X, U)) \quad i = 1, \dots, n \quad (3.9)$$

$$ec_j(U) = M_r ec_j'(Y) = M_r ec_j'(SP(X, U)) \quad j = 1, \dots, m \quad (3.10)$$

$$exc_k(U) = M_r exc_k'(Y) = M_r exc_k'(SP(X, U)) \quad k = 1, \dots, p \quad (3.11)$$

M_r – усереднення по X .

Критерії адаптації являють собою функціонали, визначені на станах об'єкта Y як середні значення функцій $ic_j'(SP(X, U))$, $ec_i'(SP(X, U))$ та $exc_k'(SP(X, U))$, які задаються.

Сама задача адаптації має вигляд:

$$EXC(U) \rightarrow ext \Rightarrow U^*, U \in C \quad (3.12)$$

де

$$C: \begin{cases} IC(U) \geq 0 \\ EC(U) = 0 \end{cases} \quad (3.13)$$

Формалізований у такому вигляді запис задачі адаптації дозволяю здійснити її аналіз та розробити метод її рішення.

3.2 Розробка алгоритму вирішення задачі проєктування сервісної платформи

Синтез моделі реалізації сервісної платформи є важливою задачею, яку необхідно вирішити на етапі проєктування СП. Від якості рішення даної задачі залежить успішність та ефективність подальшого процесу експлуатації СП. На етапі проєктування СП зазвичай вирішується низка взаємозв'язаних підзадач, які можна формалізувати наступним чином – синтез оптимальної топологічної структури СП за умов забезпечення відповідного рівня якості обслуговування (у тому числі й інформаційної безпеки) за умови мінімізації витрат на її реалізацію. На цьому етапі життєвого циклу визначається ціль (або множина цілей) створення СП, які повинні бути реалізовані продовж всього життєвого циклу СП у процесі управління цією СП. В цьому конкретному випадку слід розуміти, що ціль – це деякий стан зовнішнього середовища, який є бажаним для об'єкта (СП) і який не можливо створити без зовнішнього впливу (управління). На етапі проєктування СП можна враховувати як параметри зовнішнього середовища що визначають стан потреб СП, так і параметри що можуть бути змінені самою СП (тобто СП може здійснювати вплив на зовнішнє середовище). Зазвичай, параметри зовнішнього середовища, на які СП не здатна впливати ігноруються. Тоді можна зазначити, що СП сприймає зовнішнє середовище, як деяку множину параметрів:

$$S = (S_1, \dots, S_e) \quad (3.14)$$

За умови, що кожний з цих параметрів може бути змінений під впливом суб'єкту, тобто виникає процес управління і тоді маємо:

$$S(U) = (s_1(U), \dots, s_e(U)), \quad (3.15)$$

Очевидно, що існує множина станів $\{Stan\}$, яке утворюється параметрами s_1 ($i=1\dots e$). Кожний елемент цієї множини визначає який певний стан/ситуацію, яка сформувалася навколо суб'єкту (сервісної платформи). Тоді можна сказати, що проектування СП має низку цілей, які описуються вектором

$$Z = (z_1, \dots, z_k), \quad (3.16)$$

де кожний елементи вектора z_i повністю визначається ситуацією $Stan_i$:

$$z_i = \psi_i(Stan) \quad (i = 1, \dots, k), \quad (3.17)$$

функція ψ_i визначає зв'язок між станом зовнішнього середовища E і елемента вектора цілей z_i . У векторній формі це записується як:

$$Z = \psi(Stan), \quad (3.18)$$

де

$$\psi(S) = (\psi_1(Stan), \dots, \psi_k(Stan)) \quad (3.19)$$

Таке перетворення даних Ψ у формат вектора Z пов'язано з тим, для СП, зазвичай, визначаються цілі у термінах і поняттях, які можна здебільшого виміряти.

Нехай є p -мірний простір цілей $\{Z\}$, який утворюється елементами вектор (3.16). Тоді через координати цих точок можна сформулювати цілі, досягнення яких призведе до вирішення задачі оптимального проектування СП за визначеною цільовою функцією. Тобто ціль формується у вигляді цільового вектора Z'

$$Z' = (z'_1, \dots, z'_k), \quad (3.20)$$

де z'_i – i -а вимога до стану зовнішнього середовища S , яка визначена через функцію $\psi_i(S)$. Цілі можуть мати різний характер, але їх форму необхідно уніфікувати. Зазвичай усі елементи цільового вектора Z' можна звести до трьох уніфікованих форм:

1) «прирівняти» z'_i – i -й цільовий елемент $z_i = \psi_i(S)$ прирівнюється певній визначеній величині a_i , тобто $z_i = a_i$

2) «обмежити» z'_j – j -й цільовий елемент не повинен бути менш ніж (або більш ніж) заданий поріг b_j , тобто $z_j \geq b_j$ або $b_j \geq z_j$

3) «спрямувати до екстремуму» (мінімізувати або максимізувати) z_l – l -й цільовий елемент повинен досягти екстремуму, тобто $z_l \rightarrow \min$ або $z_l \rightarrow \max$.

Отже, процес формування цільового вектора Z пов'язаний з визначенням вектору функцій $\psi(S)$ (3.19) та уніфікацією кожного елемента цього вектора, тобто можна формалізувати запис відображення вектора цілей Z на множині станів $\{Stan\}$:

Отже, процес формування цільового вектора Z пов'язаний з визначенням вектору функцій $\psi(S)$ (3.19) та уніфікацією кожного елемента цього вектора, тобто можна формалізувати запис відображення вектора цілей Z на множині станів $\{Stan\}$:

$$Stan' : \begin{cases} \psi_i(Stan) = a_i, i = \overline{1, \dots, s} \\ \psi_j(Stan) \geq b_j, j = \overline{s+1, \dots, s+p} \\ \psi_l(Stan) \rightarrow \max, l = \overline{s+p+1, \dots, s+p+t} \end{cases} \quad (3.21)$$

Точка або область $Stan'$, яка задовольняє цим вимогам є тим станом зовнішнього середовища, який потрібен суб'єкту (СП). Фактором, який визначає можливість досягнення такого стану зовнішнього середовища, є здатність суб'єкту впливати на зовнішнє середовище, тобто

$$S = S(U) \quad (3.22)$$

та від ресурсів R , які на це виділяються $U \in R$ (це матеріальні, часові, та інші ресурси, які виділяються на управління U).

Очевидним є той факт, що область $Stan'$ взаємодіє з зовнішнім середовищем і формує траєкторію її зміни $S(t)$ – відбувається цілеспрямований вплив на зовнішнє середовище

$$S_t = S(U, t) \quad (3.23)$$

таким чином, щоб $S(U, t) \in Stan'$, що в свою чергу, сприяє досягненню цілей.

Отже, управління U потрібне для того, щоб:

1) досягти сформованої цілі управління Z , тобто реалізувати умову $S(U, t) \in Stan'$

2) компенсувати траєкторію стану, який порушує умову $S(U, t) \in Stan'$.

Задачу, яку вирішують на етапі проектування можна сформулювати наступним чином – для заданої множини ресурсів R (вхідних параметрів) сформулювати вектор цілей $\{Z\}$ та визначити такий варіант структури суб'єкту (СП), який за критеріями досягнення цих цілей буде найкращим (оптимальним).

Складність задачі з проектуванням СП, обумовлена тим, що множина S вихідних параметрів може бути досить великою або навіть нескінченною. Якщо, розглядати СП з позицій стратифікованого підходу, як це описано у розділі 2, то її проектування є NP-повною задачею, тобто можливо синтезувати множину X топологічних структур (конфігурацій) СП. Рішенням задачі проектування в такому випадку є формалізація множини вхідних параметрів S СП, множини ресурсів R СП, формалізації цільової функції (критерію оптимізації) та пошук її екстремуму на базі відомих методів, тобто:

$$СП: F(S) \rightarrow \text{ext } X \quad (3.24)$$

Задача 3.15 є класичною формою запису задачі оптимізації, але в цьому випадку необхідно відзначити, що знайти оптимальне рішення практично не можливо через те, що сучасні СП функціонують в умовах невизначеності та динамічних змін зовнішнього середовища, а саме:

- зовнішнє середовище динамічно змінюється, а отже множина S може постійно змінюватись, що своєю чергою ускладнює формалізацію цільової функції;
- постійна зміна множини S буде вимагати більше ресурсних витрат (часу та фінансів) на формалізацію задачі.

Саме через ці особливості, формалізація множини S вхідних параметрів (вимог) може бути неповною, відповідно й модель СП буде наближеною, а не точною. А в цьому випадку, як вже було зазначено виникає необхідність проведення адаптації задачі проектування (зміни/уточнення вимог до СП у процесі проектування, зміна/уточнення вектора цілей). Враховуючи це, очевидним є той факт, що адаптація на етапі проектування повинна бути спрямована на мінімізацію критеріїв оптимізації, тобто оптимальним рішенням буде така конфігурація СП x_i , $x_i \in X$, яка сформована на базі підмножини

вхідних параметрів S_i , $S_i = \{s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{in}\}$, $S_i \in S$, $S_i \subset S$, $\forall s_i \in S_i$, які своєю чергою відповідають певному стану $Stan$, що й є рішенням в досягненні визначених цілей Z .

Класичний підхід (рис. 3.1) до рішення задачі оптимізації, який являє собою лінійну послідовність етапів в цьому випадку застосувати не можливо через зазначені вище причини.

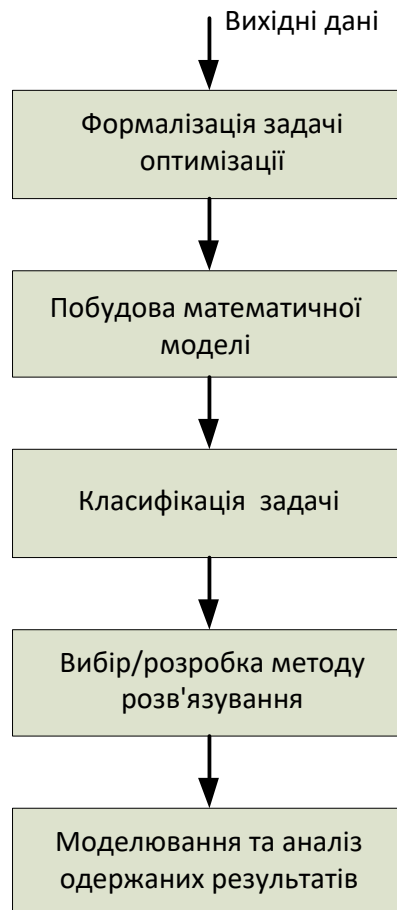


Рисунок 3.1 – Алгоритм рішення оптимізаційної задачі

Тому для рішення зазначеної проблеми пропонується принцип *адаптаційної достатності*, який можна сформувати у такий спосіб:

«динамічні зміни зовнішнього середовища не дозволяють остаточно сформувати стаціонарну множину вхідних параметрів S , тому для рішення задачі з синтезу оптимальної топологічної структури 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 проектування СП, що дозволяє знайти таке рішення задачі, при якому обрана цільова функція досягає свого екстремуму».

Такий підхід ілюструє концепцію адаптації на етапі проектування – якщо для обраної цільової функції не можливо знайти рішення в умовах визначених вихідних даних, то можна провести адаптацію задачі за рахунок або зміни цільової функції або зміни множини вхідних параметрів. Узагальнена форма такого підходу до задачі оптимального проектування наведена на рис. 3.2.

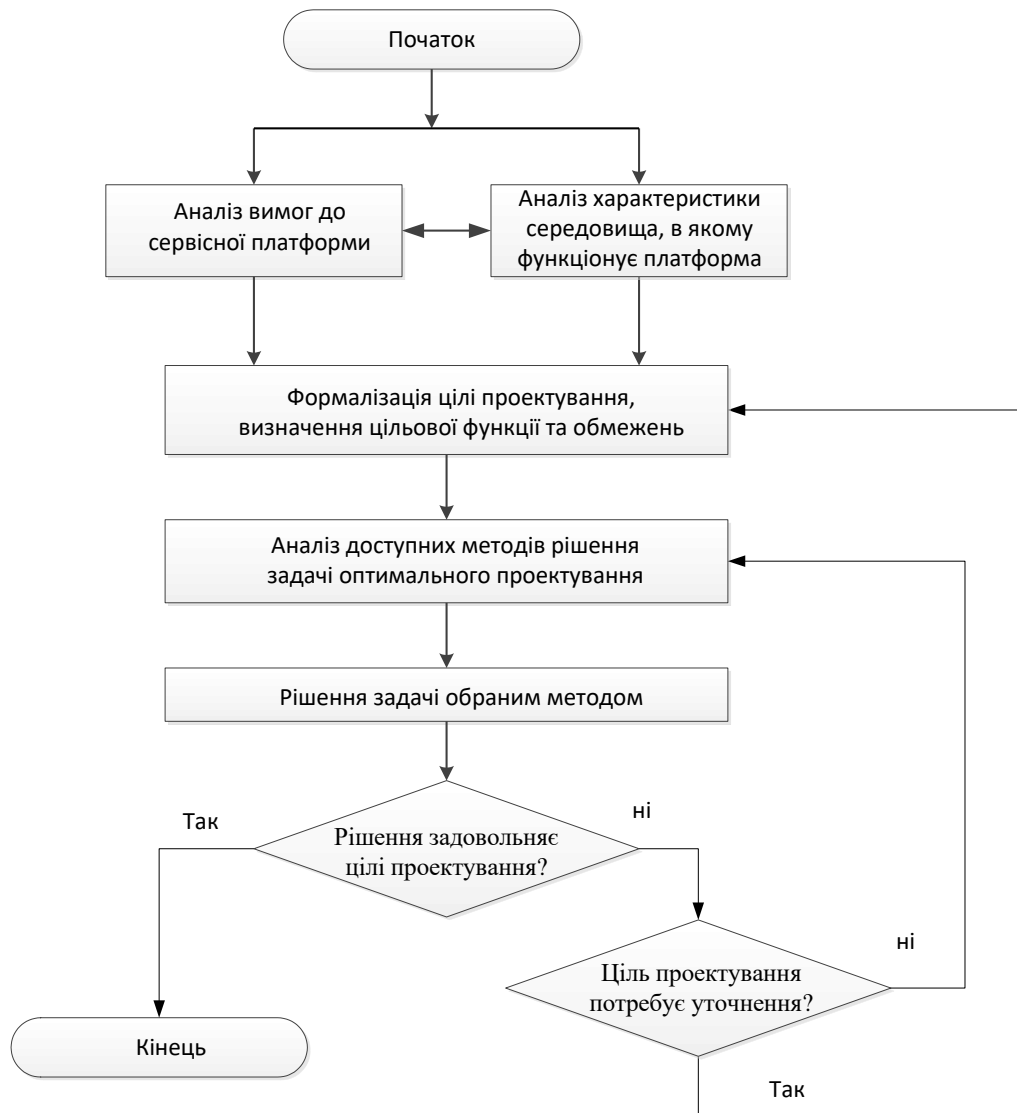


Рисунок 3.2 – Уточнений алгоритм рішення задачі оптимального проектування

Будемо вважати, що при застосуванні моделі морфологічного опису СП була визначена деяка множина вхідних параметрів X і сформовано вектор цілій Y , тоді відповідно до розділу 2 та виразів (3.20) – (3.24) цільова функція буде мати наступний вигляд як:

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

Спрощений математичний сенс цільової функції може бути записаний як:

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

Тоді відповідно до принципу адаптивної достатності введемо вектор A , елементи якого a_i це бінарні змінні:

$$a_i = \begin{cases} 1 & \text{якщо вхідний параметр } s_i \text{ враховується} \\ 0 & \text{в протилежному випадку} \end{cases} \quad (3.26)$$

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

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

$$Y = \frac{X_1}{X_1^0} \cdot w_1 \cdot a_1 + \frac{X_2}{X_2^0} \cdot w_2 \cdot a_2 + \dots + \frac{X_i}{X_i^0} \cdot w_i \cdot a_i, \quad (3.27)$$

або

$$Y = \sum_i \frac{X_i}{X_i^0} \cdot w_i \cdot a_i \quad (3.28)$$

З урахуванням того факту, що у моделі морфологічного опису СП кількість страт та параметрів цих страт визначає сам дослідник, цілком природним буде й те, що саме він буде визначати які саме з формалізованих вхідних параметрів слід взяти до уваги – іншими словами, значення вектора A формує дослідник. Отже, задачу синтезу сервісної платформи, можна описати наступним алгоритмом [55, 75]:

- формалізувати загальну множину вихідних параметрів S ;
- обґрунтувати та формалізувати цільову функцію;
- сформулювати вектор A , який визначає які вихідних дані будуть враховуватись для вирішення задачі оптимізації;
- сформулювати вагові коефіцієнти вихідних параметрів для кінцевої цільової функції при рішенні задачі оптимізації;
- обрати метод рішення задачі.

Формалізована задача оптимального проектування СП, яка вирішується в умовах динамічних змін як зовнішнього середовища, так і самого об'єкта (сервісної платформи), ставить перед дослідником досить складну проблему щодо вибору, згідно з принципом адаптивної достатності, достатнього набору вхідних параметрів. Ідентифікація вхідних параметрів моделі об'єкта пов'язані з оцінкою чисельних значень вихідних параметрів в режимі сталого функціонування об'єкта. Тобто мається на увазі, що відсутній будь-який вплив на об'єкт з боку системи управління. Базовими даними для ідентифікації необхідної структури $Strc$ об'єкта (сервісної платформи) є аналіз взаємодії його входів $X(t)$ та виходів $Y(t)$ під час взаємодії з зовнішнім середовищем. Враховуючи це, можна зазначити, що кортеж параметрів $X(t)$ та $Y(t)$

$$N(t) = \langle X(t), Y(t) \rangle \quad (3.29)$$

визначають закон (режим) функціонування об'єкта і є джерелом інформації що ідентифікації вихідних параметрів для формалізації задачі оптимального проектування.

В свою чергу, задача ідентифікації вихідних параметрів є задачею класифікації сервісної платформи. Класифікація об'єкта надає відповідь стосовного його потенційних характеристик (множини вихідних параметрів) і дозволяє значно скоротити час на їх ідентифікацію. Для побудови класифікаційної моделі сервісних платформ доцільно використовувати фасетний метод класифікації [54, 55.]

Фасетний метод передбачає створення системи класифікації з багатьох незалежних підмножин – фасет (класів). Кожен фасет Φ_i містить сукупність

значень, які можуть набувати класифікаційні ознаки, значення різних фасет неповинні повторюватися. У загальному вигляді система класифікації може бути описана фасетною формулою виду $CLS = (\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n)$, а один і той же об'єкт може входити до складу різних фасетів (класів).

Нехай існує деяка множина сервісних платформ PF , на якому визначено множину ознак U для цих об'єктів :

$$U_{PF} = \{u_{PFi} \mid i = 1, \dots, k\}, \quad (3.30)$$

де u_{PFi} – елементи множини PF .

Тоді множина фасет (класів) CLS на множині U визначається як:

$$CLS(U) = \{CLS_k \mid k = 1, \dots, t\}, \quad (3.31)$$

де CLS_k – фасета, яка визначає k -у класифікаційну ознаку об'єкта.

Кожна фасета може приймати певну множину припустимих значень:

$$\phi^{CLS_k} = \{\phi_{k1}, \dots, \phi_{km}\}, \quad (3.32)$$

де m – множина припустимих значень в межах i -ої фасети

Для кожного елемента множини PF необхідно задати хоча б одне значення фасетної ознаки:

$$\phi_j(u_{PFi}) = \{\phi_{ks}(u_{PFp}), p \in \{1, \dots, k\}\} \subset \phi^{CLS_k}, \quad (3.33)$$

Множина значень усіх фасетних ознак визначається як:

$$\phi_j(u_{PFi}) = \{\phi_{ks}(u_{PFp}), \forall p: p \in \{1, \dots, k\}, \phi_j(u_{PFi}) \neq \emptyset\}, \quad (3.34)$$

Тоді фасетна формула Ff для PF визначається:

$$Ff(u_{PFi}) = \{[CLS_j : \phi_j(u_{PFi})] \mid CLS_j \in CLS(U), \phi_j(u_{PFi}) \in \phi^{FS_k} \forall j \in \{1, \dots, k\}, \phi_j(u_{PFi}) \neq \emptyset\}, \quad (3.35)$$

Запропонований метод класифікації є гнучким і дозволяє адаптуватись під різні області застосування. Так в [53, 54] продемонстровано використання запропонованої системи класифікації в задачах синтезу сервісних платформ IoT. На базі цього методу запропонована базова класифікаційна модель (рис. 3.3) для визначення характеристик сервісних платформ в IoT.

Площина базових характеристик		Площина специфічних характеристик	
Класифікаційна ознака	Клас об'єкту	Класифікаційна ознака	Клас об'єкту
Тип реалізації	Вузькоспрямовані	Сфера застосування	Індустріальні
	Універсальні		Медичні
Тип підтримки	Повністю супроводжуються		Споживчі
	Частково супроводжуються		Багатоцільові
	Не супроводжуються		
Сумісність з ОС	Стаціонарні		Підтримка візуалізації
	Мобільні	Без візуалізації	
	Кросплатформні		
Тип архітектури	Закриті	Обробка даних	Реального часу
	Відкриті		Серійні
Підтримка мережевих протоколів	Базові		
	Спеціалізовані	Спосіб управління	Централізовані
	Комбіновані		Децентралізовані
Стратегія розвитку	Вертикально інтегровані в гору	Технологія захисту	Авторизація
	Вертикально інтегровані в низ		Шифрування
	Партнерські		

Рисунок 3.3 – Базова класифікаційна модель для визначення характеристик сервісної платформи IoT

Аналогічно, запропонований підхід був застосований й для класифікації складових об'єктів сервісної платформи телемедицини [71]. Так основу сервісної платформи телемедицини складають телемедичні пункти (ТП), які можуть мати різні структури та призначення і відповідно різні властивості, що своєю чергою впливає на множину вихідних ознак [72].

Класифікаційна модель надає можливість визначити базові характеристики СП і таким чином сформулювати загальну множину вимог

(вихідних характеристик) СП. Очевидно, що запропоновані класифікаційні моделі не є вичерпними та надалі можуть доповнюватись та модернізуватись, але такий підхід дозволяє значно скоротити час на ідентифікацію вихідних параметрів СП.

Разом з цим слід відзначити, що не всі виходи/входи об'єкта змінюються в процесі експлуатації, так не змінюються параметри U , на які не впливає стан або зміни стану зовнішнього середовища. У такому випадку, для визначення залежності таких параметрів необхідно проводити їх цілеспрямовану зміну, тобто потрібно проводити експеримент. Однак, експеримент приводить до збудження об'єкта, що є не бажаним. Таким чином, для ідентифікації параметрів в умовах невизначеності (модель об'єкта у вигляді «чорної скриньки»), доцільно застосувати метод експертного оцінювання.

Методи експертного оцінювання – це методи організації роботи з фахівцями-експертами й обробки висновків експертів, наведених в кількісній або якісній формі з метою підготовки інформації для прийняття рішень. Зміст методу експертних оцінок полягає в систематизованому відборі та аналітичній обробці ряду персональних оцінок досліджуваних категорій. Основні принципи, на яких будується робота експертних груп: максимальна простота і зрозуміле значення процедури для експертів, перенесення складності формалізації на етап обробки даних, максимально можливе скорочення часу проведення експертизи та виключення її багатоетапності [73].

Цільова функція при використанні методів експертного оцінювання має такий самий вигляд як і функція 3.25:

$$F = s_1 \cdot c_1 + s_2 \cdot c_2 + \dots + s_i \cdot c_i \rightarrow \max, \quad (3.36)$$

$$i = \overline{1, n}$$

Вагові коефіцієнти c_i мають задовольняти таким умовам: $\sum_{i=1}^m c_i = 1$ и $c_i > 0$

(m – кількість показників, що характеризують СП) і визначаються як:

$$c_i = \frac{c'_i}{\sum_{i=1}^m c'_i}, \quad (3.37)$$

де c'_i – вагові коефіцієнти в абсолютному виді, а c_i – відносні (нормовані) вагові коефіцієнти.

Абсолютні значення ваг c'_i призначаються за порядковою бальною шкалою (наприклад, стобальною), причому, чим важливіше показник, тим більша вага йому відповідає. Експерт заповнює таблицю опитування, проставляючи оцінки в балах кожному запропонованому рішенню. На підставі формули (3.17) розраховуються нормовані вагові коефіцієнти та проводиться підрахунок середнього значення оцінок.

Надійність оцінок визначається по статистичних характеристиках, які описують розкид оцінок окремих експертів і груп експертів, тобто статистичних характеристиках, що визначають ступінь погодженості оцінок. Розкид оцінок, що даються N експертами рішенню P_i (системі S_i , ваговому коефіцієнту c_i) визначається величиною варіації [73]:

$$v = \frac{\sqrt{\sigma_i^2}}{\bar{c}_i}, \quad (3.38)$$

де σ_i^2 – дисперсія оцінки, \bar{c}_i – середнє значення оцінки.

Дисперсія оцінки визначається за формулою:

$$\sigma_i^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta c_i^2}{N - 1}, \quad (3.39)$$

де $\Delta c_i = c_i - \bar{c}_i$, а N – загальне число експертів в усіх групах.

Отримані результати дозволяють зробити первісні висновки про надійність експертної оцінки.

Ступінь погодженості оцінок за сукупністю всіх оцінюваних рішень визначається коефіцієнтом конкордації W . Ступінь погодженості рішень усіх груп експертів характеризується коефіцієнтом рангової кореляції ρ .

Коефіцієнт конкордації визначається за формулою [73]:

$$W = \frac{12 \sum_{i=1}^m \Delta S_i^2}{N^2(m^3 - m) - N \sum_{j=1}^N T_j}, \quad (3.40)$$

де

$$\Delta S_i = S_i - \bar{S}_i, \quad (3.41)$$

$$S_i = \sum_{j=1}^N R_{ij}, \quad (3.42)$$

$$\bar{S}_i = \frac{S_1 + S_2 + \dots + S_m}{m}, \quad (3.43)$$

$$T_j = \sum_{l=1}^{L_j} (t_{jl}^3 - t_{jl}), \quad (3.44)$$

У формулах (3.40) – (3.44) R_{ji} – ранг, привласнений i -му рішенням j -м експертом, S_i – сума рангів, привласнених i -му рішенням всіма експертами, \bar{S}_i – середнє значення суми рангів всіх m рішень, L_j – число груп рішень з рангами, що збіглися, для j -го експерта, l – номер групи з рангами, що збіглися, t_j – кількість рішень, що збіглися, j -го експерта в групі l .

Визначено рівень важливості α , тобто імовірність того, що розрахований коефіцієнт конкордації не є випадковою величиною. Величина рівня важливості визначається по таблицях розподілу випадкової величини χ^2 :

$$\chi^2 = \frac{12 \sum_{i=1}^m \left(\Delta S_i m(m-1) \sum_{j=1}^N T_j \right)}{(Nm(m+1) - 1)}. \quad (3.45)$$

Коефіцієнт рангової кореляції ρ , що характеризує ступінь погодженості оцінок усіх груп експертів, визначається за формулою:

$$\rho = 1 - \frac{m \sum_{i=1}^m (R_{i1} - R_{i2})}{m(m^2 - 1)}, \quad (3.46)$$

де R_{i1}, R_{i2} – ранги, що присвоюються i -му рішенням I і II групою експертів.

З урахуванням вище зазначеного, для проектування СП доцільно обирати таку сукупність параметрів/критеріїв, які дозволяють синтезувати таку структуру яка забезпечує необхідний рівень якості сервісу згідно з заданим технічним завданням. В якості цільової функції, за якою будується оптимальна СП, зазвичай доцільно обирати функцію часу розповсюдження та обслуговування потоків завдань (з урахуванням параметрів навантаження), іншими словами, потрібно мінімізувати час реакції СП на запит користувачів. Після формалізації цільової функції, яка відображає ціль задачі проектування для вибору методу її рішення потрібно визначити клас сформульованої задачі. Класична теорія алгоритмів [74], в першу чергу класифікує задачі оптимізації за критерієм складності та виділяє постійні, лінійні, поліноміальні, експоненціальні та суперполіноміальні. Поліноміальні задачі поділяють на P та NP класи задач. Задачі класу P можуть бути вирішені за час, що поліноміальна залежить від обсягу вихідних даних, за допомогою детермінованої обчислювальної машини (наприклад, машини Тьюринга); а задачі класу NP можуть бути вирішені за поліноміальна виражений час за допомогою недетермінованої обчислювальної машини, тобто машини, наступний стан якої завжди однозначно визначається попередніми її станами. Очевидно, що задача, яку ми розглядаємо є поліноміальною задачею класу NP.

Залежно від форми цільової функції та характеру обмежень задача може мати лінійний або не лінійний характер. Здебільшого задачі оптимізації в інфокомунікаціях мають не лінійний характер (хоча в деяких випадках вони можуть бути зведені до лінійної форми), тому для їх рішення доцільно використовувати методи нелінійної оптимізації. До відомих методів рішення задач нелінійної оптимізації відносять [74, 76]:

- метод штрафних функцій (Penalty Function Method).
- метод проєкції градієнта (Projected Gradient Method).
- метод внутрішньої точки (Interior Point Method).
- метод Парето.
- метод гілок та границь (Branch and Bound).

Останнім часом, для рішення задачі оптимального проєктування широкого застосовуються генетичні алгоритми.

Таким чином, рішення задачі оптимального проєктування на базі принципу адаптивної достатності може бути формалізовано у вигляді алгоритму, який наведено на рис. 3.4.

3.3 Розробка алгоритму вирішення задачі реконфігурації сервісної платформи

Питання реконфігурації сервісної платформи виникає на стадії експлуатації. Необхідність реконфігурації обумовлена в першу чергу тим, що на етапі проєктування СП зазвичай знаходять «квазіоптимальне» рішення (причини цього розглянуті у попередньому розділі). Реконфігурація передбачає гнучке реагування на зміну умов функціонування СП шляхом адаптивного управління функціональними параметрами та характеристиками СП в умовах апріорної невизначеності її стану, тобто йдеться про параметричну адаптацію синтезованої структури сервісної платформи [55].

Задача реконфігурації (параметричної адаптації) виникає через необхідність оптимізації (корекції) параметрів СП, що є результатом експлуатації СП в умовах її тісної взаємодії з зовнішнім середовищем.

Застосування адаптації дозволяє усунути відхилення параметрів об'єкта від їх оптимальної траєкторії. Параметрична адаптація є реакцією об'єкта на вектор управління, який генерує система управління і який містить дані щодо необхідності корекції стану СП. Своєю чергою, управління є цілеспрямованим впливом на об'єкт, в результаті якого об'єкт переводиться до потрібної (оптимальної) траєкторії.

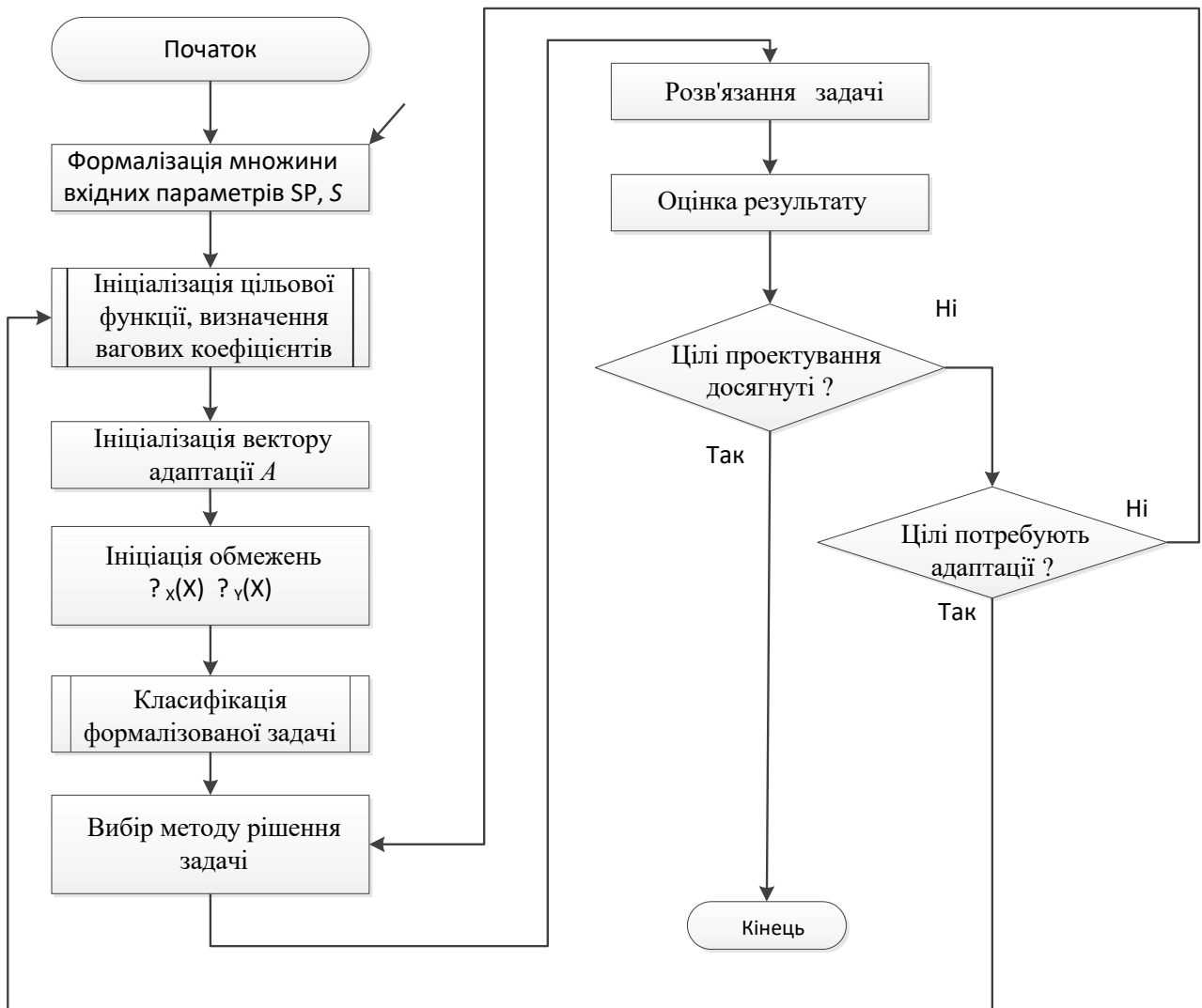


Рисунок 3.4 – Алгоритм рішення задачі оптимального проектування на базі ГА

Управління здійснює: моніторинг стану елементів СП та ЗС; параметричний синтез моделі управління; структурний синтез моделі управління.

Якщо повернення об'єкта до оптимальної траєкторії руху (режиму експлуатації) можливо за рахунок оптимізації його параметрів u_1, \dots, u_n , тобто

$$U = (u_1, \dots, u_n), \quad (3.47)$$

то це параметрична адаптація, яка й вирішує задачу реконфігурації. При цьому кожний параметри u_i може набувати кінцевої множини значень:

$$U \in S = D \quad (3.48)$$

де D — дискретна множина значень управління U .

Відхилення об'єкта від оптимальної траєкторії призводить до того, що система управління генерує керуючий вплив, який збуджує об'єкт і вимагає корегування його параметрів з метою повернення до оптимальної траєкторії. Однак, процес управління не надає достатньо інформації щодо цих змін, а в умовах відсутності повної інформації знову виникає адаптаційний аспект, який на етапі реконфігурації полягає у тому, що потрібно визначити такий набір вхідних параметрів СП, змінивши який можна повернути систему до оптимальної траєкторії. Очевидно, що на відміну від етапу проєктування, на етапі реконструкції потрібно враховувати абсолютно інші вхідні параметри, тобто потрібно формувати новий вектор адаптації A' . Разом з цим, через не повноту даних наданих системою управління, відсутнє чітке розуміння які саме параметри підлягають реконфігурації. В таких умовах для визначення цих параметрів доцільно скористуватися методом експертного оцінювання.

Очевидно, що використання відомих методів рішення таких задач недоцільно – складно знайти глобальний оптимум, це можливо лише у тому випадку коли проблема володіє властивістю опуклості [77], а формалізована задача його не має. Альтернативою, в цьому випадку, для знаходження рішення є використання генетичних алгоритмів.

Генетичні алгоритми вже досить знаходять активне застосування для вирішення різних задач оптимізації в сфері інфокомунікацій. Так в роботі [78] досліджується питання оптимізації процесу маршрутизації, для рішення якої автори розробили генетичний алгоритм, який на відміну від алгоритмів Dijkstra та Depth-First Search дозволяє знайти множину найкоротших маршрутів, які мають однакову вартість. В роботі [79] розв'язується проблема створення планувальника ресурсів для максимізації пропускної здатності каналів мережі. Задача оптимізація структури безпроводової мережі за допомогою генетичних алгоритмів з метою досягнення оптимального балансу між продуктивністю мережі та споживанням ресурсів досліджується в роботі [80]. В роботі [81] аналізується можливість використання генетичних алгоритмів для вирішення проблеми енергоефективності безпроводової мережі.

Проблеми з забезпечення якості послуг у мережах та шляхи їх вирішення на базі генетичних алгоритмів досліджуються у роботах [82, 83].

Широкої популярності генетичні алгоритми набули у вирішення задач оптимізації процесів передачі даних. Так у роботі [84] запропоновано використовувати так званий мурашковий алгоритм для пошуку маршрутів. Було доведено, що використання мурашкового алгоритму призводить до зменшення розміру таблиці маршрутизації. Запропонований алгоритм створює початкову популяцію, визначає базову популяцію мурах, далі за допомогою генетичних операцій генерує нові популяції, використовуючи генетичні оператори та здійснює оцінку придатності нових популяцій і, нарешті, оновлює таблицю маршрутизації. Запропонований алгоритм добре працює не тільки для генерації маршрутів між парою вузлів, а й для досягнення ефективного балансування навантаження.

В роботі [85] на базі генетичного алгоритму розроблено протокол маршрутизації для мобільних безпроводових стільникових мереж з підтримкою QoS. Запропонований протокол визначає так звані «близько оптимальні» маршрути на вимогу, в умовах невизначеності щодо стану мережі. Протокол враховує такі параметри QoS, як затримка, пропускна здатність та залишкова ємність. Цікаве рішення запропоновано в роботі [86] – автори запропоновували новий підхід до визначення класів обслуговування у великій розподіленій безпроводовій мережі. Запропонований підхід ґрунтується на базі «дерево на основі генетичного алгоритму». Результати експериментів довели, що ця модель швидше, ніж традиційні підходи – дерево характеризує структуровану модель для різних класів QoS і вимагає менше обчислень для великих мереж.

Багато науковців досліджували питання використання генетичних алгоритмів для оптимізації навантаження на вузли та канали мережі. Балансування навантаження належить до фази реконфігурації сервісної платформи і дозволяє оптимізувати споживання ресурсів при збільшенні продуктивності роботи мережі. Дані питання досліджуються в роботах [87-93].

В [87] розглядається проблема балансування навантаження під час передачі даних в телемедицинській мережі, яка на базі модифікованого адаптивного генетичного алгоритму.

Аналіз використання генетичних алгоритмів для оптимізації повторного використання каналів в телекомунікаційних сервісних платформах проводиться у роботі [94]. В [95, 96] за допомогою генетичного алгоритму розроблено рішення задачі пошуку оптимального розміщення вузлів безпроводової мережі. У [91] генетичний алгоритм використовується для рішення задачі оптимізації проектування хмарної інфраструктури надання сервісів. У дослідженні [97] автори довели ефективність генетичних алгоритмів відносно нейронних мереж. В роботі продемонстровано, що рішення засновані на нейронних мережах досить часто потрапляють у «пастку» зони локальної оптимізації (алгоритм знаходить локальний екстремум) Ця стаття повідомляє, що нейронні мережі частіше потрапляють у пастку локальної оптимізації, оскільки результат нейронної мережі критично залежить від початкових значень. У випадку з генетичними алгоритмами цієї проблеми можна легко уникнути – завдяки генетичній операції мутація.

Проведений аналіз засвідчує, що генетичні алгоритми є популярним інструментом для рішення широкого кола оптимізаційних задач для сучасних сервісних платформ.

Генетичні алгоритми, як і будь-які інші алгоритми, мають власні правила функціонування та операції, які вони використовують. Дослідники та науковці у сфері генетичних алгоритмів, виділяють три базові генетичні операції [98-101]:

- відбір;
- схрещування;
- мутація.

Разом з цим важливими складовими генетичного алгоритму є операція формування популяції та операція визначення функції пристосованості. Досить часто функцію пристосованості називають фітнес-функція [98, 99]. Також

виділяється ще така операція, як перевірка умови зупинки алгоритму. Дана операція не належить до базової структури генетичних алгоритмів, вона є результатом адаптації використання генетичних алгоритмів для вирішення оптимізаційних задач.

На рис. 3.5 наведена базова схема функціонування генетичного алгоритму.

Перший крок який виконується – це формування вихідної або базової популяції (покоління). Ключовий аспект – випадковість формування базової популяції, тобто вона формується з випадково обраних потенційних рішень (індивідів). У генетичних алгоритмах індивідууми представлені хромосомами, тож початкова популяція, по суті, є набором хромосом. Формат хромосом повинен відповідати вихідним умовам для вирішуваної задачі, наприклад, це можуть бути двійкові рядки певної довжини. Випадковість формування базової популяції надає системі різноманітності та можливості виявлення найкращих рішень.

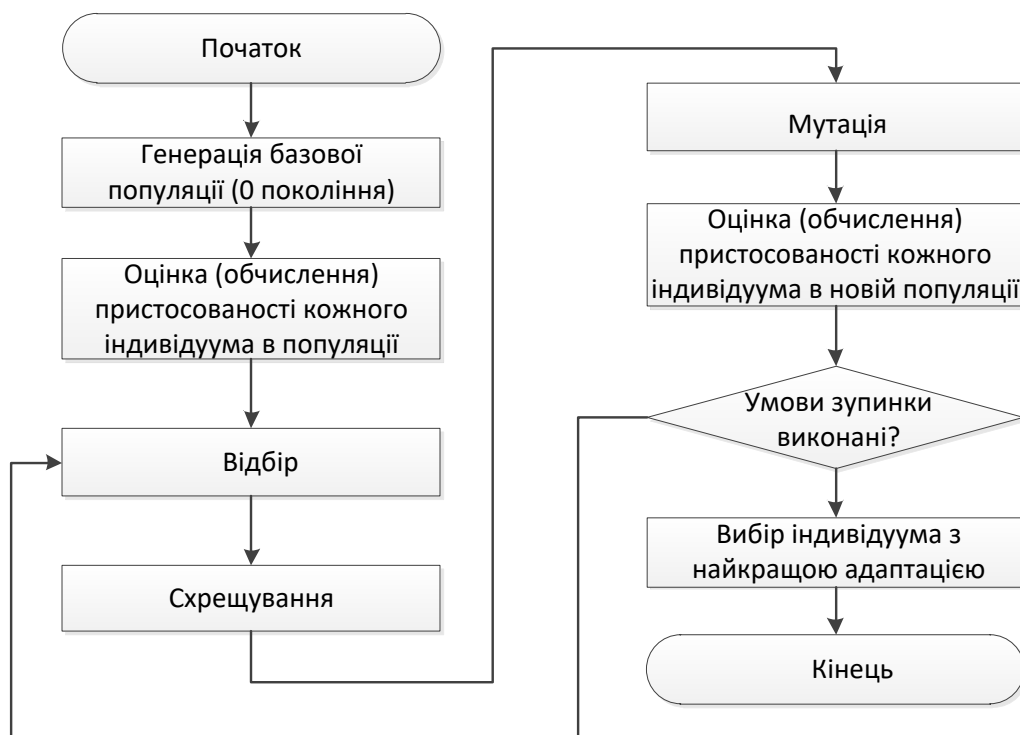


Рисунок 3.5 – Базова схема роботи генетичного алгоритму

Хоча індивіди виражені у формі хромосом, їх формат варіюється від задачі до задачі, що дозволяє генетичним алгоритмам бути гнучкими в рішенні широкого спектра завдань.

Далі необхідно визначити фітнес-функцію (функцію пристосованості). Фітнес-функція розраховується постійно, у циклі. На початку розрахунок фітнес-функції здійснюється для сформованої початкової популяції, а потім для кожного нового покоління після застосування генетичних операторів відбору, схрещування і мутації. Оскільки придатність будь-якого індивіда не залежить від усіх інших, ці обчислення можна проводити паралельно. Оскільки на етапі відбору, що йде після обчислення придатності, більш придатні індивіди зазвичай вважаються кращими рішеннями, генетичні алгоритми природно "налаштовані" на пошук максимумів функції придатності. Якщо в якій-небудь задачі потрібний мінімум, то при обчисленні придатності слід інвертувати знайдене значення.

Після формування базової популяції до неї застосовуються генетичні оператори. Застосування генетичних операторів до популяції призводить до генерації нової популяції, яка утворюється з найкращих індивідуумів базової популяції. Оператор відбору відповідає за відбір індивідуумів з поточної популяції таким чином, що перевага надається кращим. Генетична операція відбору визначає, які індивіди перейдуть до наступного покоління, а оператори відбору можуть варіювати залежно від конкретних характеристик задачі, наприклад таких як величина популяції.

Генетична операція схрещування (або рекомбінації) створює нащадків обраних індивідуумів. Зазвичай для цього беруться два індивідууми, і частини їх хромосом обмінюються місцями, в результаті чого створюються дві нові хромосоми, що представляють двох нащадків.

Важливою операцією є мутація, саме вона вносить випадкові зміни в один або кілька генів хромосоми новоствореного індивідуума, що й дозволяє отримати новий поштовх для розвитку. Оператор мутації дозволяє відкривати нові комбінації генетичного матеріалу, що може призвести до виникнення

нових корисних властивостей в нащадках, сприяючи еволюції популяції в напрямку більш пристосованих особин до умов середовища(а в наших умовах запобігти потраплянню у «пастку» локального екстремуму).

Застосування генетичних операторів відбору, схрещування та мутації генерує нову популяцію, для індивідуумів якої знов відбувається розрахунок фітнес-функції. Наступний крок – перевірка умови зупинки роботи алгоритму. Як вже зазначалось, може існувати кілька умов, при виконанні яких робота генетичного алгоритму зупиняється. Найбільш поширеними умовами зупинки роботи алгоритму є:

- Досягнуто максимальної кількості поколінь. Ця умова одночасно дозволяє обмежити час роботи алгоритму та споживання його ресурсів системою.

- Протягом кількох останніх поколінь не спостерігається помітних покращень. Це можна реалізувати шляхом запам'ятовування найкращої пристосованості, досягнутої в кожному поколінні, і порівняння поточного найкращого значення зі значеннями у кількох попередніх поколіннях. Якщо різниця менше заданого порога, то алгоритм можна зупинити.

Також зупинка роботи алгоритму можлива за наступних умов:

- з моменту початку пройшло зазначений заздалегідь час;
- перевищено певний ліміт витрат ресурсів;
- найкраще рішення зайняло частину популяції, більше за визначене порогове значення.

Умови зупинки алгоритму можуть бути адаптовані до конкретної задачі або обмежень системи, що дозволяє гнучко керувати його роботою.

Таким чином, генетичний алгоритм починається функціонувати з генерації популяції на базі випадково обраних потенційних рішень (індивідів), для яких обчислюється функція пристосованості. Далі алгоритм запускає цикл, у якому послідовно застосовуються оператори відбору, схрещування та мутації, після чого пристосованість індивідів перераховується. Цикл триває, поки не

буде виконана умова зупинки, після чого кращий індивід у поточній популяції й вважається рішенням задачі оптимізації.

Усі оператори, які використовуються у генетичному алгоритмі можуть виконуватись на базі різних правил, що дозволяє адаптувати їх, практично під будь-які класи оптимізаційних задач в будь-яких сферах. На рис. 3.6 наведена класифікація генетичних операцій, які використовуються в роботі генетичних алгоритмів [98-101].

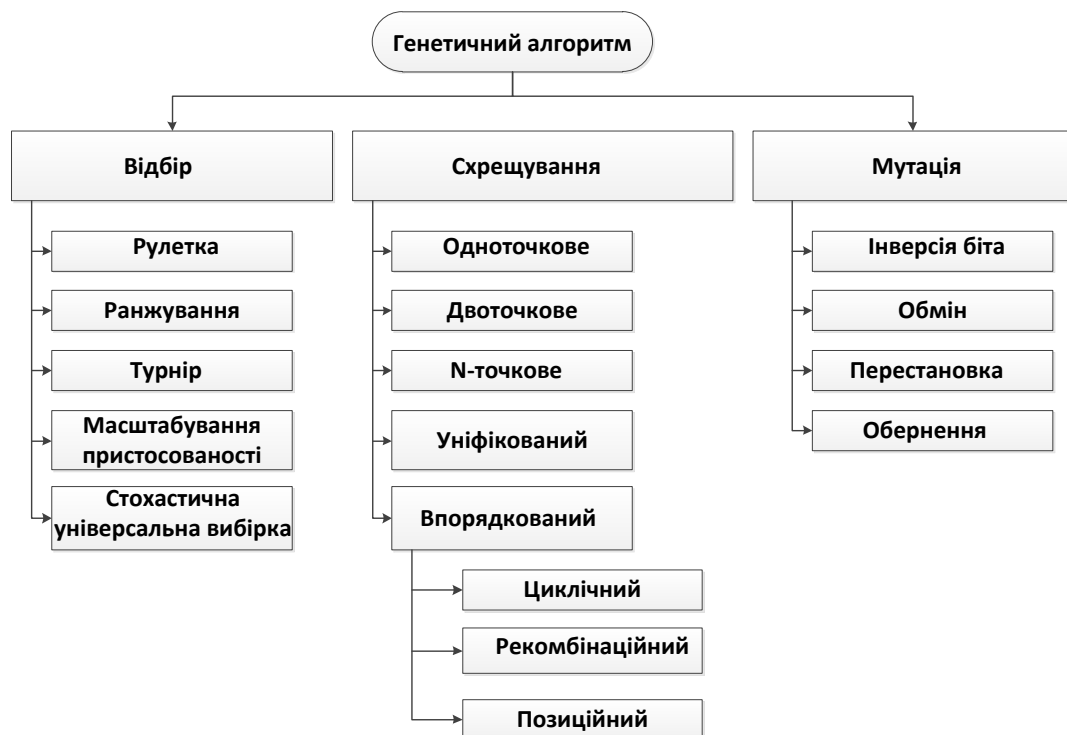


Рисунок 3.6 – Класифікація генетичних операцій

З точки зору реалізації генетичного алгоритму для вирішення нашої задачі найбільш доцільним є використання таких методів відбору як правило рулетки або турнірний відбір.

Метод відбору за правилом рулетки, або відбір пропорційно пристосованості (fitness proportionate selection - FPS), працює за таким правилом – ймовірність відбору індивіда прямо пропорційна його пристосованості. Досить часто проводять аналогію з обертанням колеса рулетки, де кожному індивідууму відповідає сектор, вартість якого (його розмір) дорівнює

приспосованості індивідуума [99]. Цілком очевидно, що імовірність того, що кулька зупиниться в секторі індивіда, пропорційні розміру цього сектора.

Нехай, в нас є популяція із сімох індивідуумів з такими значеннями приспосованості, як у табл. 3.1. За цими значеннями обчислюються частки, які займають сектори кожного індивідуума. На рис. 3.7 наведена рулетка, яку формує задані характеристики індивідуумів. За замовченням напрямком руху обернення колеса рулетки обирається за годинниковою стрілкою. Після запуску рулетки відбір відбувається у точці відбору. Потім рулетка запускається ще раз для вибору наступного індивідуума, і так доти, доки не набереться достатньо індивідуумів для утворення нової, наступної популяції. В результаті один і той же індивід може бути обраний кілька разів.

Таблиця 3.1 – Характеристики індивідуумів

Індивідуум	Приспосованість P_i	Відносна доля P_i/P_{sum}
A	10	5%
B	15	7%
C	45	23%
D	35	18%
F	5	3%
E	65	34%
G	20	10%
Загальна пристосованість Psum:	195	

Модернізованим варіантом правила рулетки є стохастична універсальна вибірка. Використовується та сама рулетка з такими ж секторами, але замість однієї точки відбору і багаторазового запуску рулетки, використовується лише один оберт колеса, а відбір індивідуумів відбувається в декількох точках, які рівномірно розподілені по площі кола (рис. 3.8).

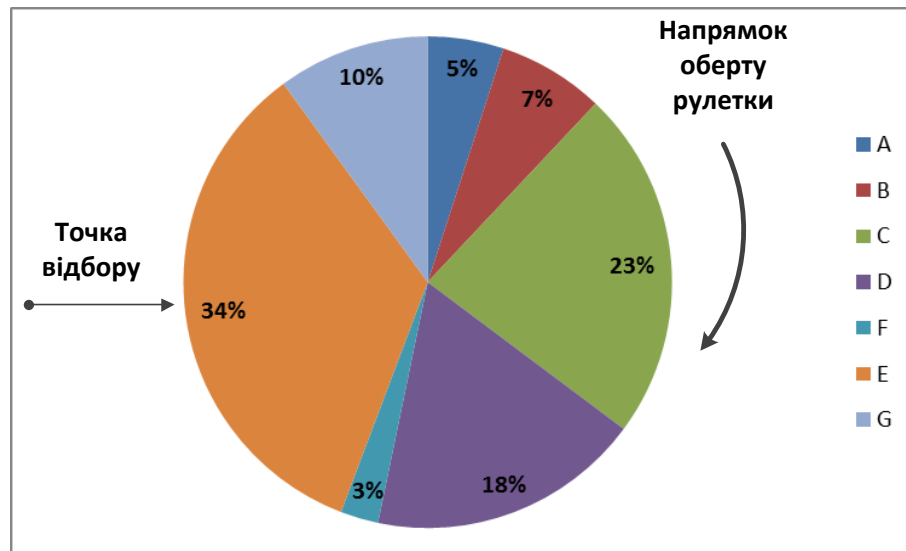


Рисунок 3.7 – Відбір за правилом рулетки

В цьому випадку усі індивідууми для нової популяції обираються одночасно, що дозволяє скоротити час роботи алгоритму. Також при такому варіанті відбору один індивідуум не може бути відібраний двічі.

Головна особливість цього методу відбору полягає у тому, що він не дає індивідам з особливо високою пристосованістю заповнити наступне покоління в результаті повторного вибору. Тому слабкішим індивідуумам надається шанс, а несправедливість правила рулетки певною мірою компенсується. Відбір на базі ранжування. Даний метод ґрунтується на ідеях, які використовуються для визначення значень вагових коефіцієнтів у методиці експертних оцінок [73].

Метод ранжируваного відбору, на відміну від методу рулетки, використовує значення пристосованості не для обчислення ймовірностей вибору, а для сортування індивідуумів [98-101]. Після сортування кожному індивідууму призначається ранг, який відповідає його позиції у списку, а ймовірності секторів рулетки обчислюються на основі цих рангів. Візьмемо ту саму популяцію із сімох індивідуумів (табл. 3.1) і додаємо до таблиці стовпець із рангом індивідуума (табл. 3.2).

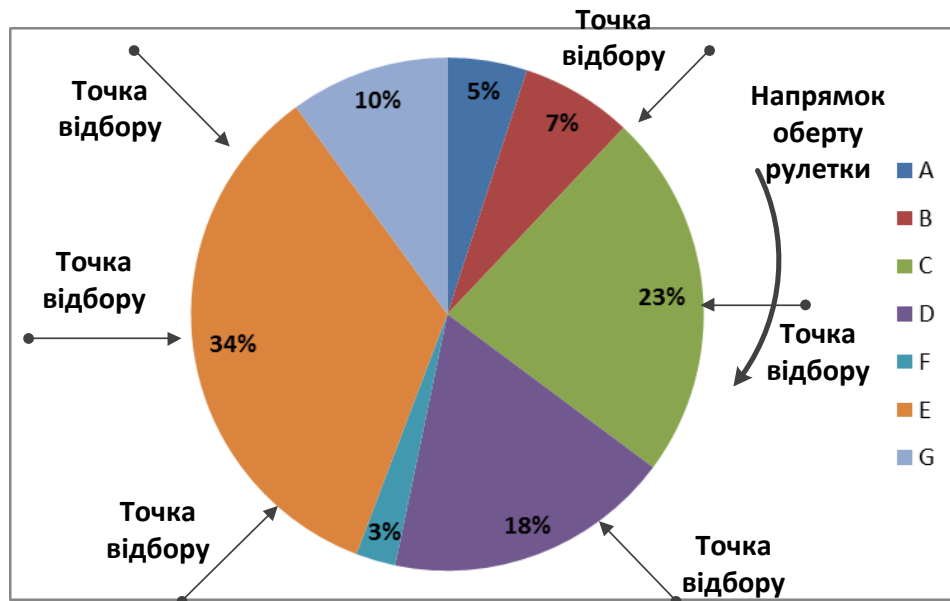


Рисунок 3.8 – Відбір на базі стохастичної універсальної вибірки

Таблиця 3.2 – Ранжування індивідуумів

Індивідуум	Пristосованість P_i	Ранг R	Відносна доля P_i/P_{sum}
A	10	2	5%
B	15	3	7%
C	45	6	23%
D	35	5	18%
F	5	1	3%
E	65	7	34%
G	20	4	10%
Загальний ранг R_{sum} :		28	

Оскільки розмір популяції дорівнює 7, найвищий можливий ранг теж дорівнює 7, наступний за порядком – 6 тощо. Кожному індивідууму зіставляється сектор рулетки, обчислений за цими рангами, а чи не за значенням функції пристосованості (рис. 3.9).

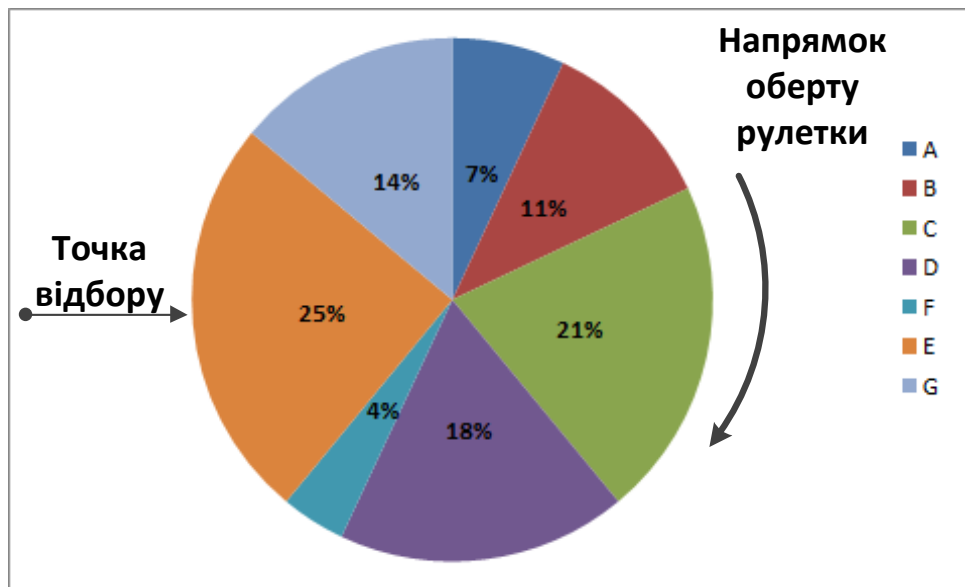


Рисунок 3.8 – Відбір на базі ранжування

Відбір на базі ранжування доцільно використовувати, коли є декілька індивідів, набагато краще пристосованих, ніж решта. Використання рангу замість самої пристосованості заважає цим індивідуумам захопити всю популяцію у наступному поколінні, оскільки ранжування згладжує значні відмінності. Крім того, коли всі індивіди мають майже однакову пристосованість, ранжований відбір дозволяє розділити їх, віддаючи перевагу кращим, навіть коли відмінності мінімальні.

Досить популярною є схема турнірного відбору. Схема заснована на принципі змагання – зорганізується декілька раундів змагань, в кожному раунді турнірного відбору з базової популяції вибираються два або більше індивідуумів, і той, у кого пристосованість більша, виграє та відбирається у наступне покоління [99]. Проілюструємо проведення турнірного відбору на прикладі розглянутої вище популяції (табл. 3.3) На рис. 3.10 показаний результат випадкового вибору чотирьох з них (А, С, Е та F) з наступним оголошенням Е переможцем, оскільки у нього максимальна пристосованість з чотирьох учасників турніру.

Індивідуум	Пristосованість P_i
A	10
B	15
C	45
D	35
F	5
E	65
G	20



Рисунок 3.10 – Турнірний відбір

Кількість індивідуумів, що беруть участь у кожному раунді турнірного відбору (у нашому прикладі – чотири), називається розміром турніру. Чим більший розмір турніру, тим вищі шанси, що в раундах братимуть участь індивідууми з найкращими характеристиками, і тим менше шансів у слабких учасників перемогти у турнірі. Особливістю цього методу відбору є те, що якщо ми вміємо порівнювати будь-яких двох індивідуумів і визначати, який з них кращий, то самі значення функції пристосованості і не потрібні.

Оператор схрещування використовується для комбінування генетичної інформації двох індивідуумів, які виступають у ролі батьків, у процесі породження нащадків (зазвичай двох). Одна з простих та поширених схем схрещення – це схрещування ц одній точці. Позиція схрещування в хромосомах обох батьків обирається випадковим чином. Ця позиція називається точкою схрещування або точкою розрізу. Гени однієї хромосоми, розташовані праворуч від цієї точки, обмінюються з так само розташованими генами іншої хромосоми. В результаті отримуємо двох нащадків, які несуть генетичну інформацію обох батьків [98-102]. На рис. 3.11 показано одноточкове схрещування пари двійкових хромосом, коли точка схрещування знаходиться між шостим та сьомим геном.

При двоточковому схрещуванні випадково вибираються по дві точки схрещування в кожній хромосомі. Гени однієї хромосоми, розташовані між цими точками, обмінюються з так само розташованими генами іншої хромосоми [98, 99].

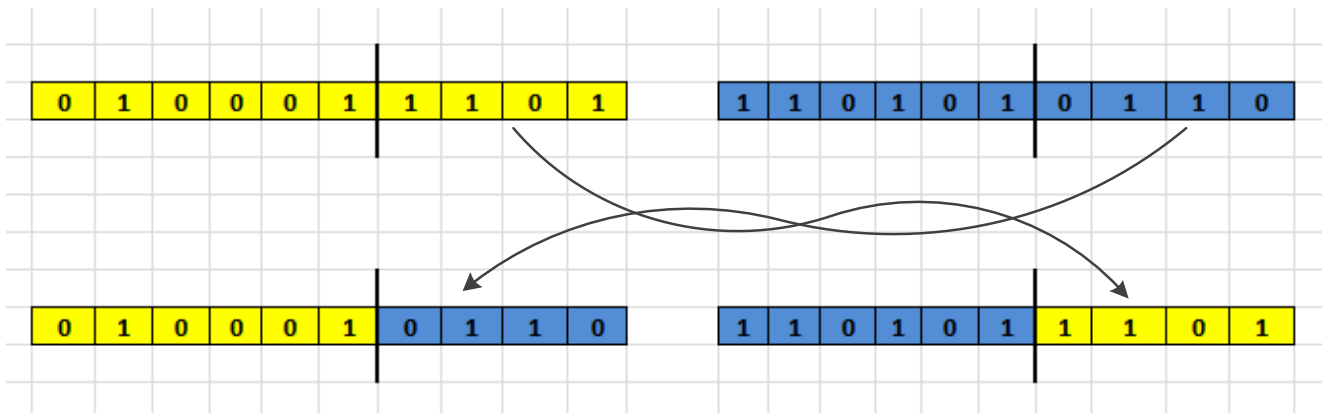


Рисунок 3.11 – Схрещування за однією точкою

На рис. 3.12 показано двоточкове схрещування пари двійкових хромосом, коли перша точка схрещування знаходиться між другим і третім геном, а друга між шостим і сьомим.

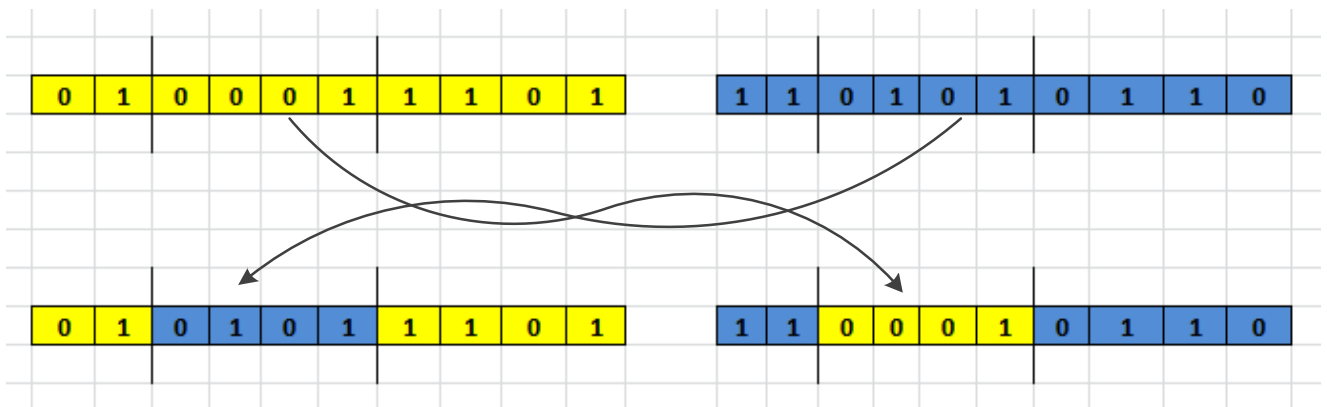


Рисунок 3.12 – Схрещування за двома точками

Узагальненим методом схрещування є k -точкове схрещування, де k – будь-яке ціле додатне число.

Також поширеним є варіант рівномірного схрещування. При рівномірному схрещуванні кожен ген обох батьків визначається незалежно від випадкового вибору з рівномірним розподілом. Коли обирається 50% генів, обидва батьки мають однакові шанси вплинути на нащадків (рис. 3.13).

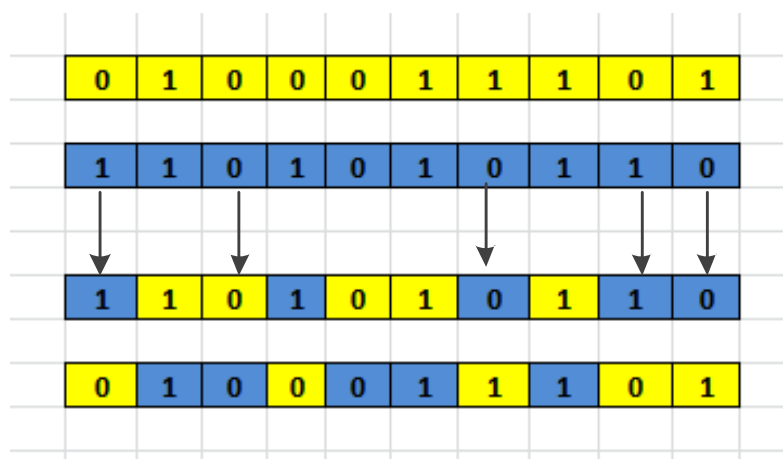


Рисунок 3.13 – Рівномірне схрещування

При рівномірному схрещуванні не відбувається обмін цілими сегментами хромосом, а отже це дозволяє підвищити різноманіття властивостей нащадків.

Розглянуті методи схрещування реалізують операцію схрещування повністю випадково, і тому для деяких класів оптимізаційних задач їх застосовувати не можливо. Так, відома задача о комівояжере не може бути розв'язана з використанням розглянутих методів схрещування. Рішенням цієї задачі є послідовність міст, які мінімізують загальну довжину маршруту і при цьому у послідовності повторювати або пропускати міста не можливо. Розглянуті методи схрещування можуть формувати хромосоми в яких гени можуть повторюватись, а це суперечить умовам задачі. Для таких випадків було розроблено метод упорядкованого схрещування [99, 100].

Найпростішою реалізацією оператора мутації є випадкова інверсія одного з генів (рис. 3.14). Ген для мутації обирається випадково. Складніший варіант – інверсія декількох ген одночасно.

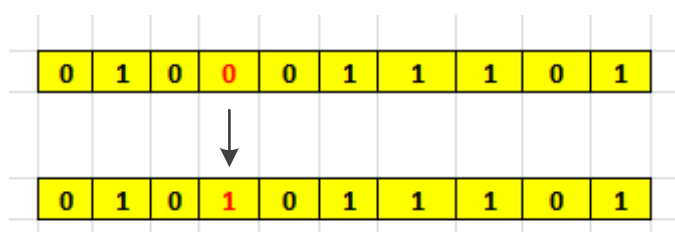


Рисунок 3.14 – Мутація інверсією

Метод упорядкованого схрещування прагне, наскільки це можливо, зберегти відносний порядок батьківських генів [98-101]. Проілюструємо принцип упорядкованого схрещування на прикладі хромосоми з шістьма генами. На першому етапі відбувається двоточкове схрещування з випадково обраними точками розрізу, як показано на рис. 3.15 а. На другому етапі починаємо заповнювати гени, що залишилися вільними в кожному нащадку, для чого обходимо гени батьків в їх вихідному порядку, починаючи від другої точки розрізу. У першого з батьків в цій позиції знаходиться ген номер 6, але він вже присутній, тому ми переходимо до наступної позиції (з поверненням на початок), в якій знаходиться ген 1. Він також вже присутній в нащадка. Наступним є ген 2, оскільки його ще немає в нащадка, додаємо його, як показано на рис. 3.15 б. Для другої пари батько-нащадок починаємо з позиції, в якій знаходиться ген 5. Оскільки він вже присутній у нащадка, переходимо до гена 4. Він теж є, тому йдемо далі та завершуємо в позиції, де знаходиться ген 2, який й і додаємо до нащадка. Результат також показано рис. 3.15 б.

Наступним геном для першого з батька є ген 3 (він вже присутній у нащадка), а за ним йде ген 4, який додається до структури нащадка. Для другого з батьків наступним йде ген 6. Оскільки його ще немає в нащадка, то додаємо його. Результат показаний на рис. 3.15 в. Продовжуючи далі, заповнюються усі вільні позиції в нащадків, і отримуємо остаточні форми хромосом-нащадків (рис. 3.15 г).

Після схрещування, для надання алгоритму глобального характеру, застосовують мутацію. Мутація застосовується до популяцій, створених під дією операторів відбору та схрещування. Операція мутації має ймовірнісний характер. Ймовірність виникнення мутації дуже низька, оскільки може погіршити якісні характеристики індивідуума, до якого застосована. З іншого боку, оператор мутації дозволяє запобігти стагнації та підвищити різноманітність популяції та таким чином уникнути пастки локального екстремуму. Разом з цим, слід відзначити, що досить висока частота мутації призводить до виродження генетичного алгоритму у випадковий пошук [99].

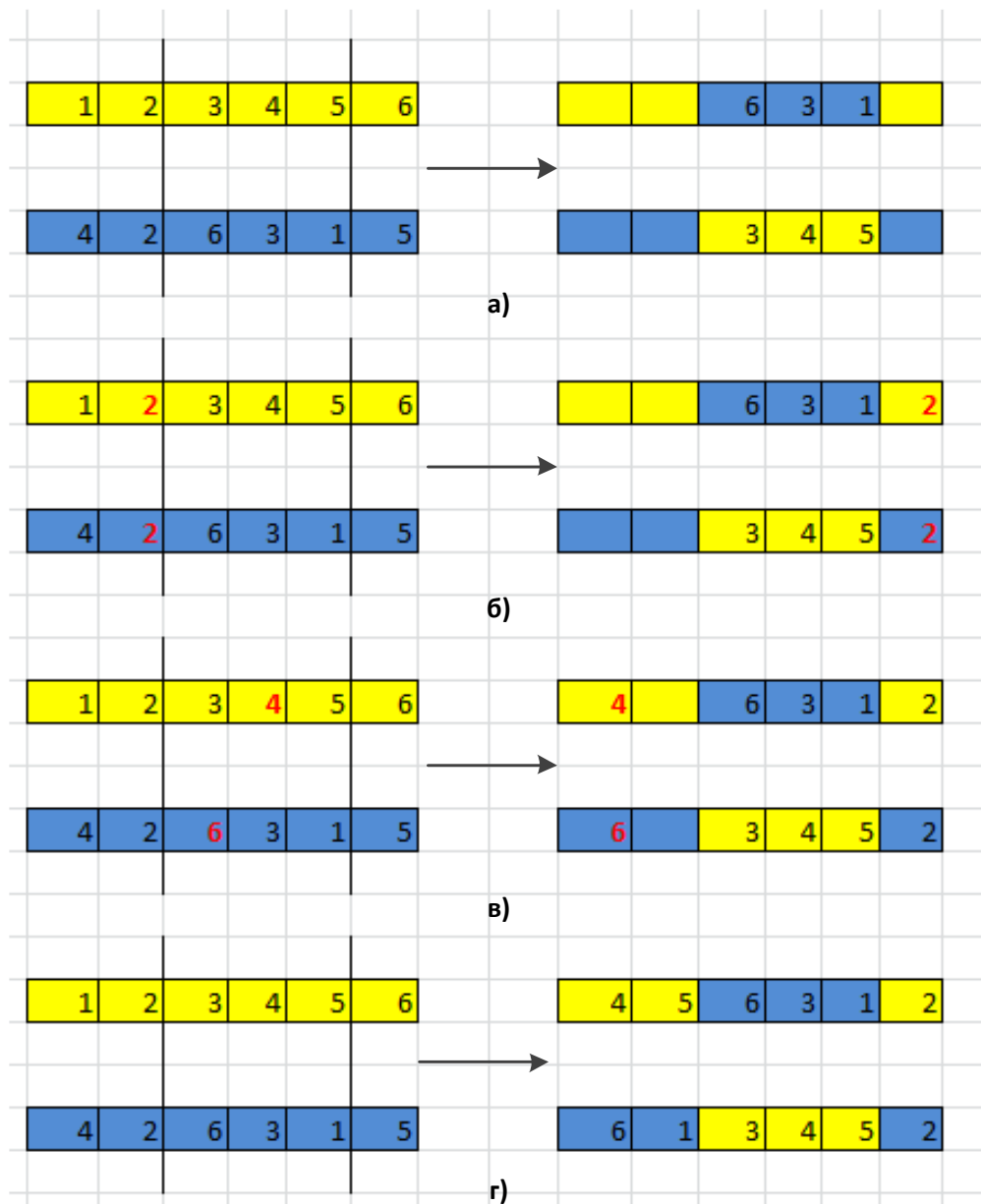


Рисунок 3.15 – Упорядковане схрещування

Ще одним варіантом реалізації операції мутації є мутація обміном. Цей варіант може вживатись як до двійкових, так і до цілих хромосом – випадково вибираються два гени, і їх значення змінюються місцями, як показано на рис. 3.16. Така операція мутації підходить для хромосом, що представляють упорядковані списки, оскільки набір генів у новій хромосомі такий самий, як у вихідній [100].

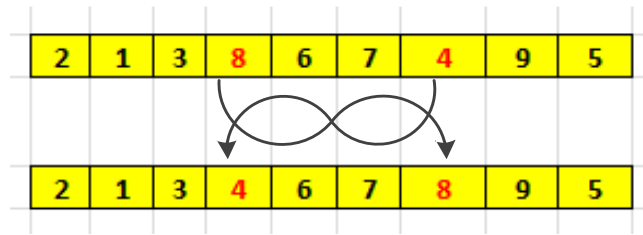


Рисунок 3.16 – Мутація обміном

Також поширеними варіаціями операції мутації є мутація у формі зворотної послідовності (рис. 3.17) – випадково обирається послідовність генів в якій змінюється порядок розташування ген на зворотній [98-101]. Мутація методом перемішування передбачає вибір послідовності ген та подальшу випадкову зміну їх порядку розташування у послідовності (рис. 3.18).



Рисунок 3.17 – Мутація у формі зворотної послідовності

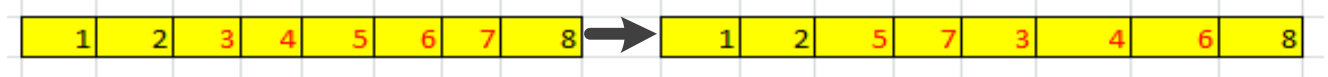


Рисунок 3.18 – Мутація методом перемішування

Перевагами використання генетичних алгоритмів порівняно з «класичними» методами нелінійної математичної оптимізації можна вважати [99-101]:

- генетичний алгоритм не висуває складних математичних вимог до виду цільової функції або обмежень задачі, тобто відсутня необхідність спрощувати модель об'єкта (і таким чином втрачати її адекватність), щоб звести її до відомих методів рішення.

- можливість уникати пастки «локального» екстремуму.

Найбільшим недоліком генетичних алгоритмів можна вважати те, що для пошуку рішення генетичний алгоритм вимагає більше часу. Для мінімізації цього недоліку, введемо в генетичний алгоритм елемент адаптації, а саме

елітизм та аутбридинг. Аутбридинг передбачає, що в якості батьків для схрещення обираються індивідууми, які мають характеристики, що максимально відрізняються один від одного [98, 99]. Елітизм передбачає, що після етапу схрещування до наступної популяції буде включено, в обов'язковому порядку, два індивідууми з максимальним значенням цільової функції.

Рішення задачі реконфігурації на базі генетичних алгоритмів може бути формалізований наступним чином:

1. Аналіз даних системи управління.
2. Аналіз вектора управління, оцінка відхилення об'єкта від оптимальної траєкторії експлуатації. Якщо об'єкт відхилився то переходимо до кроку 3, в протилежному разі переходимо до кроку 22.
3. Формування вектора адаптації A' , який визначає параметри для реконфігурації.
4. Застосування експертного оцінювання для формування вектора вагових коефіцієнтів, що визначає важливість обраних вхідних параметрів стосовно один одного.
5. Ініціалізація обмежень;
6. Ініціалізація Fitness функції, максимального розміру популяції та числа поколінь.
7. Формалізація умови зупинки генетичного алгоритму.
8. Ініціація створення базової популяції.
9. Ініціація відбору, формування нової популяції G .
10. Ініціація схрещення, застосування аутбридингу.
11. Якщо розмір нової популяції досяг максимального значення, то переходимо до кроку 12, інакше повертаємось до кроку 10.
12. Випадково обираємо p -й індивідуум та проводимо його мутацію.
13. Оновлення популяції G' .
14. Обчислення Fitness функцій для індивідуумів сформованої оновленої популяції G' .

15. Вибір максимального значення Fitness функцій.
16. Якщо знайдено нове значення Fitness функції більше за поточне, то значення Fitness функцію замінюється на нове, інакше – залишається попереднє значення.
17. Збільшення номера популяції на 1.
18. Перевірка умови зупинки алгоритму. Якщо поточний номер популяції більше або дорівнює заданому, то перехід до кроку 23 інакше переходимо до кроку 21.
19. Вибір двох індивідуумів з максимальним значенням Fitness функцій (елетизм) та перехід до кроку 9.
20. Перевіряємо, чи задовольняє знайдене рішення цілі реконфігурації. Якщо так то перехід до кроку 22.
21. Якщо знайдено рішення не задовольняє цілі реконфігурації, то – ініціація модифікації вектору адаптації A' , та перехід до кроку 4.
22. Завершення роботи алгоритму.

3.4 Розробка алгоритму вирішення задачі реконструкції сервісної платформи

Задача реконструкції, як і задача реконфігурації, виникає на етапі експлуатації, коли система управління 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 (рис. 3.19). Рішення задачі реконструкції має на меті таку зміну структури об'єкта, щоб повернути його на оптимальну траєкторію експлуатації.

Реконструкція об'єкта – це процес його адаптації до змін зовнішнього середовища шляхом модифікації його структури [55, 75]. Як і у випадку з реконфігурацією, рішення щодо необхідності адаптації структури об'єкта приймається на базі аналізу вектора управління, який генерує система

управління. Вектор управління U представляється у вигляді (3.5), де W – це множина структурних факторів, які дозволяють змінювати об'єкт (структурна адаптація), а C – множина параметрів об'єкта, змінюючи які можна також змінювати об'єкт.

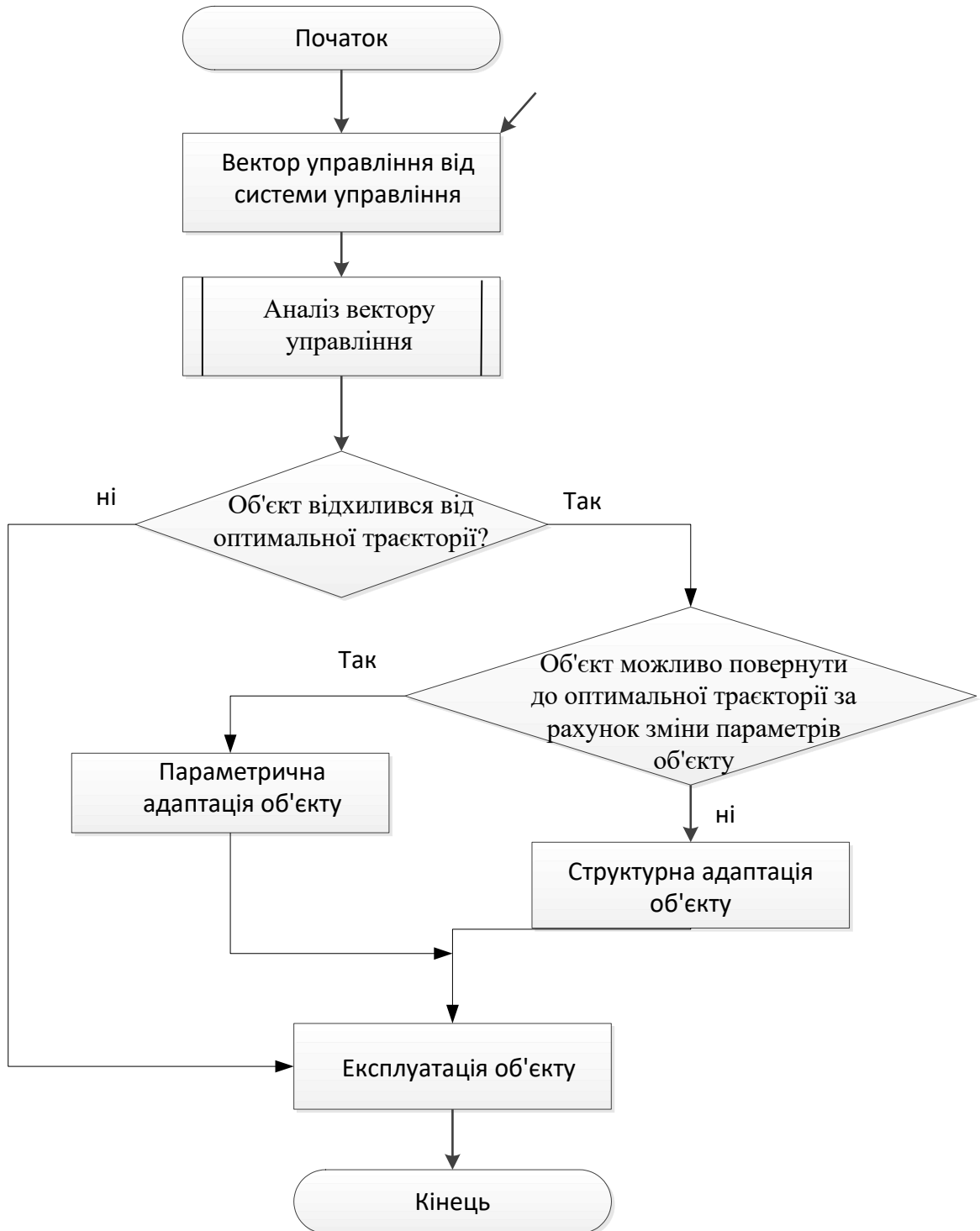


Рисунок 3.19– Алгоритм визначення необхідності структурної адаптації

Процес цілеспрямованої зміни елементів w_i з множини структурних факторів W призводить до адаптації структури об'єкта в умовах зміни оточуючого середовища. Розділ вектору управління на структурні та параметричні складові дозволяє більш ефективно повертати об'єкт до оптимальної траєкторії експлуатації в умовах, коли параметрична адаптація не надає можливості досягти поставленої цілі.

У цьому контексті задачу адаптації (3.12) можна записати у вигляді:

$$Q(W, C) \rightarrow \min_{W \in E_W} \min_{C \in E_{CW}} \rightarrow W^*, C^*_{W^*} \quad (3.49)$$

де E_W – множина можливих структур об'єкта на базі структурних факторів W ; E_{CW} – множина припустимих параметрів C що відповідають структурі, яка в свою чергу визначається множиною W ; W^* – оптимальна структура; $C^*_{W^*}$ – оптимальні параметри цієї структури. Множина W , без сумнівів, визначає структуру об'єкта, а отже, W можна умовно назвати структурою. В цьому випадку має місце наступний вираз:

$$S = E_W \times E_{CW} \quad (3.50)$$

тобто множина S можливих керуючих впливів у процесі адаптації є добутком множини потенційних структур об'єкта E_W та множини параметрів E_{CW} цих структур.

Зазвичай в рамках задачі реструктуризації множина можливих структур об'єкта E_W кінцева та має не великий розмір (можна синтезувати від трьох до десяти альтернативних структур), тобто має місце альтернативна адаптація. Однак, наш об'єкт функціонує в умовах постійного збудження зовнішнього середовища (його зміни) і в цьому випадку рішення задачі реструктуризації повинно відповідати змінам зовнішнього середовища, які відбуваються випадковим чином. Тобто реструктуризація об'єкта має «еволюційну» природу. В цьому випадку множина можливих структур об'єкта має більший розмір – кожний елемент цієї множини відрізняється на деяку варіацію ΔW , яка враховує випадкові зміни зовнішнього середовища і змінює ефективність об'єкта Q .

Таким чином, постійна зміна структур об'єкта на величину ΔW та механізм відбору таких структур (зміна структури об'єкта дозволяє повернути його на оптимальну траєкторію експлуатації) являють собою механізм (еволюційний) послідовної генерації структур, кожна з яких є покращеним варіантом попередньої структури:

$$W_0 \rightarrow W_1 \rightarrow \dots \rightarrow W_N \rightarrow W_{N+1} \rightarrow \dots, \quad (3.51)$$

при цьому

$$W_N > W_{N-1}, \quad (N=1, \dots) \quad (3.52)$$

і

$$Q(W_N) < Q(W_{N-1}) \quad (3.53)$$

Очевидно, що можливі випадки, коли варіація структури ΔW застосована до структури W_i не дозволяє отримати структуру кращу за критерієм (3.53). В цьому випадку обирається найкраща структура отриману на попередніх етапах адаптації, тобто відбувається порушення умови (3.53), але це відповідає еволюційному характеру механізму. Для рішення задачі реструктуризації доцільно також застосовувати генетичний алгоритм, що повністю відповідає «еволюційному» характеру задачі.

Продемонструємо «еволюційний» характер задачі реструктуризації – заданий об'єкт (сервісна платформа) зі структурою W , для якої визначені варіації зміни ΔW структури W , які належать деякій множині Ξ , $\Delta W \in \Xi$. В свою чергу множина Ξ визначається обмеженнями H та G таким чином, що при виконанні $\Delta W \in \Xi$ виконуються такі умови:

$$S: \begin{cases} H(W + \Delta W) \geq 0 \\ G(W + \Delta W) = 0 \end{cases} \quad (3.54)$$

якщо $H(W) \geq 0$ і $G(W) = 0$, де H та G – задані обмеження.

Виходячи з вище зазначеного, можна стверджувати, що множина S варіацій ΔW визначена і задача реструктуризації полягає в оптимізації вихідного (заданого) функціоналу:

$$Q(W) \rightarrow \min_{W \in S} \quad (3.55)$$

визначеного на структурі W .

Очевидно, що процес зміни структури (еволюція) W відбувається поетапно. На першому етапі генерується базова множина структур, які зазнали збудження (мутації):

$$W_{0i} = W_0 + \Delta W_i \quad (i = 1, \dots, k_0) \quad (3.56)$$

де ΔW_i – i -а випадкова варіація структури, яка обмежена виразом $\Delta W \in \Xi$, а число нових структур k_0 є параметром, який визначається залежно від конкретних умов задачі (фактично визначається дослідником).

Нові альтернативні структури (3.56) оцінюються за критерієм ефективності:

$$Q_{0i} = Q(W_{0i}) \quad (i = 1, \dots, k_0) \quad (3.57)$$

результатом якого є виділення структур з великим значенням функціоналу, який мінімізується і, як наслідок, генерується нова множина з q_0 кращих структур.

На наступному етапі нова множина структур також зазнає процедури випадкової зміни (3.50) і генерує таку кількість нащадків, що їх загальна кількість разом з батьками становить k_1 . На етапі відбору залишаємо q_1 структур. Далі процес повторюється поки не буде досягнуто критерію, який визначає зупинку роботи алгоритму.

Важливим фактором, який впливає на кінцеву ефективність роботи алгоритму є значення q_i ($i = 0, 1, \dots$) та k_i . Очевидно, що при багатокритеріальній задачі $q_i > 1$, і чим більше значення, тим більше ускладнюється задача пошуку оптимального рішення. В свою чергу значення k_i (розмір множини альтернативних структур або розмір популяції) впливає на ефективність роботи – чим більше k_i , тим більш глобального характеру набуває задача, але разом з цим зростає її обчислювальна складність (потрібно більше часу та обчислювальних ресурсів на її рішення). Тому при визначенні значення q_i та k_i також слід керуватись принципом адаптивної достатності.

Проілюструємо формалізований метод рішення на базі найбільш популярного методу формування моделі об'єкта, а саме коли об'єкт описується графом.

Є об'єкт, структура якого Str описується графом $G(N, V)$, де N – множина вершин графа, потужністю n , а V – множина ребер, потужністю m які описуються деякими параметрами $\|v_{i,j}\|$, де $v_{i,j}$ – параметр ребра, що з'єднує вершину i з вершиною j ($i, j = 1, 2, \dots, n$).

На графі G задано функціонал, для якого необхідно досягти екстремуму, наприклад мінімізувати:

$$W(G) \rightarrow \min, \quad (3.58)$$

$$G \in S$$

де S – обмеження яким задовольняє граф, який адаптується відповідно до умов

Для графа, можна ввести такі зміни структури: додавання нової вершини, видалення існуючої, об'єднання двох вершин, введення нового ребра, видалення існуючого ребра, зміна кінцевої вершини ребра. Таким чином можна описати множину Ξ можливих варіацій структур графу G як:

$$\Xi = (\xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_4, \xi_5, \xi_6, \dots, \xi_p)$$

де:

ξ_1 – додавання нової $m+1$ вершини з випадковими зв'язками $b_{i+1,i}$ ($i=i_1, \dots, i_k$), $b_{j, n+1}$ ($j=j_1, \dots, j_q$);

ξ_2 – видалення випадкової вершини p , $p \in N$ та ребер, яким належить ця вершина.

ξ_3 – об'єднання двох випадкових вершин p та k , $p, k \in N$;

ξ_4 – додавання нового ребра для зв'язку двох випадкових вершин;

ξ_5 – переключення випадкового ребра $\{p, k\}$ з вершини p на вершину l , $p, k, l \in N$;

ξ_6 – видалення випадково обраного ребра.

Даний приклад, показує що множина випадкових змін структури може мати досить великий розмір.

Як вже було зазначено, задачі реструктуризації має «еволюційний» характер і метод її рішення на базі генетичних алгоритмів може бути формалізований наступним чином:

1. Аналіз даних системи управління.
2. Перевірка необхідності проведення адаптації;
3. Аналіз існуючої структури об'єкта.
4. Ініціація вектора адаптації A'' , який визначає припустимі варіації структури об'єкта під час реструктуризації.
5. Ініціалізація обмежень, кількості поколінь q та розміру популяції k ;
6. Формалізація Fitness функції;
7. Визначення умов зупинки роботи алгоритму.
8. Ініціація створення базової популяції заданого розміру.
9. Відбір, схрещування, формування нової популяції.
10. Перевіряємо чи досягла нова популяція максимального припустимого розміру. Якщо так, то переходимо до кроку 11, якщо ні, то повертаємось до кроку 9.
11. В новій популяції якій випадково обираємо p -й індивідуум.
12. Проводимо випадкову мутацію p -го індивідууму.
13. Оновлення поточної популяції.
14. Обчислення Fitness функцій для індивідуумів оновленої популяції.
15. Порівняння Fitness функцій поточної та попередньої популяцій – залишаються k індивідуумів, які мають максимальне значення.
16. Збільшення номера популяції на 1.
17. Перевірка умови зупинки алгоритму. Якщо поточний номер популяції більше або дорівнює q , то перехід до кроку 18 інакше переходимо до кроку 9.
18. Вибір з популяції індивідуума з максимальним значенням Fitness функцій. Перевіряємо, чи задовольняє знайдене рішення цілі проектування. Якщо так, то перехід до кроку 20.

19. Якщо знайдене рішення не задовольняє цілі проектування, то – ініціація модифікації вектора адаптації A' , та перехід до кроку 4.

20. Завершення роботи алгоритму.

Графічна форма алгоритму наведена на рис. 3.20.

3.5 Висновки до 3-го розділу

За результатами проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Верифіковано адаптивний характер задачі багатоетапної оптимізації сервісної платформи. СП, як складний об'єкт, функціонують в умовах зовнішнього середовища, що постійно і динамічно змінюється. Такі постійні зміни здійснюють системний вплив на характеристики, структуру та траєкторію функціонування СП на усіх етапах її ЖЦ. З цього випливає, що в таких умовах вирішувати задачі з оптимізації сервісної платформи на етапах проектування/реконфігурації/реконструкції на базі статичних моделей і методів практично не можливо і для досягнення оптимальних характеристик необхідно застосовувати адаптацію.

2. Адаптація не має якоїсь однієї, чітко визначеної вимоги або критерію оптимізації, це залежить від динамічності змін зовнішнього середовища і впливу системи управління. Сервісна платформа функціонує у середовищі, що постійно змінюється, тому має місто багатокритеріальна багатоетапна оптимізація, і відповідно до цього, процес адаптації доцільно проводити за декількома критеріями одночасно. Вибір критеріїв визначається як поточним станом зовнішнього середовища, так і внутрішніми потребами самої сервісної платформи.

3. Сервісна платформа, як складний об'єкт, який потребує адаптації на різних етапах свого життєвого циклу, характеризується: нестационарністю (зміна характеристик СП під впливом непередбачуваності змін зовнішнього середовища), динамічністю зовнішнього середовища (проявляється у вигляді

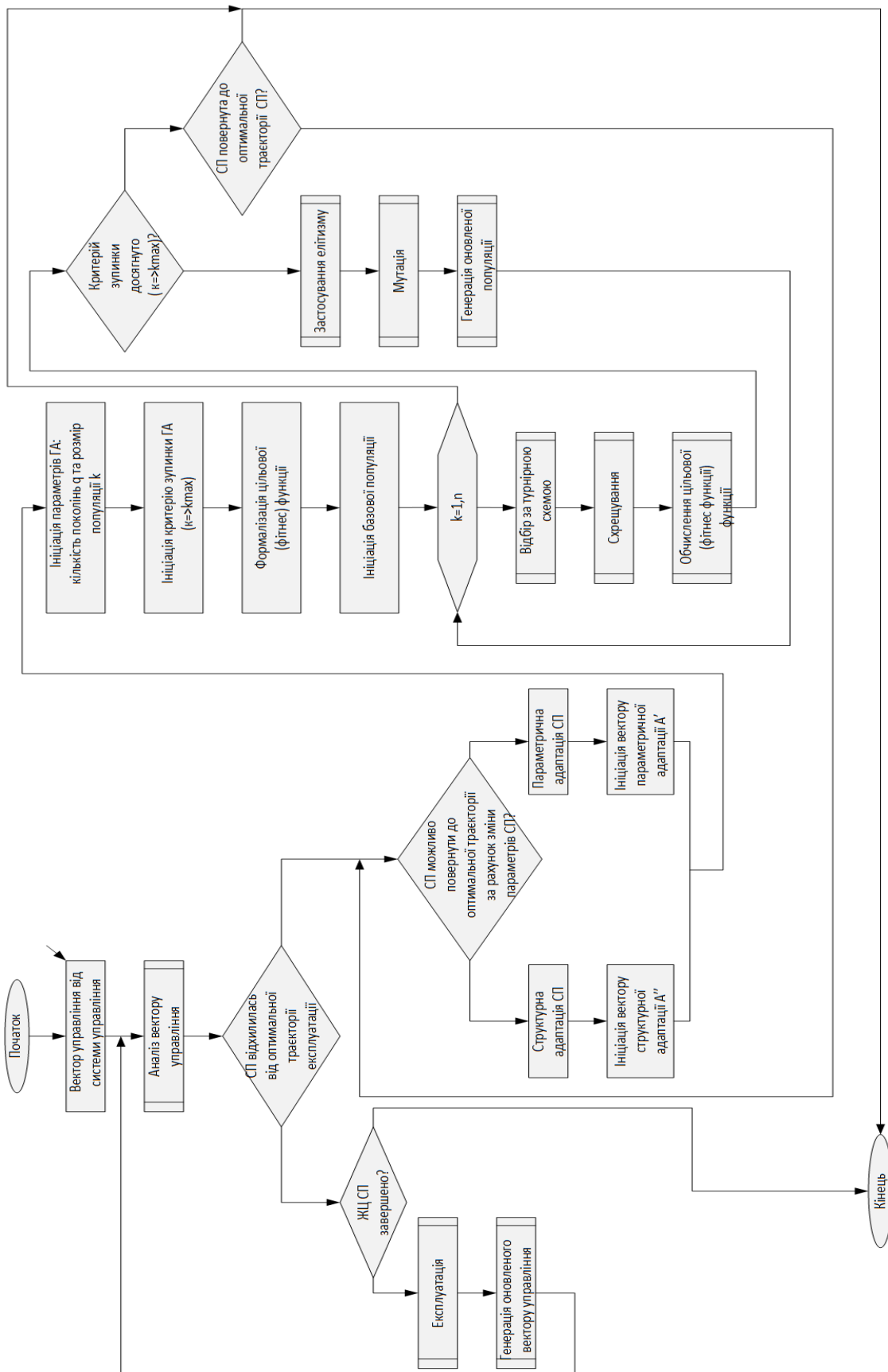


Рисунок 3.20 – Алгоритм запропонованого рішення на базі генетичних алгоритмів

постійної зміни вимог користувачів до СП) та мультिवаріантністю (необхідність множини можливих варіацій як параметрів, так і структури СП).

4. Адаптація повинна бути спрямована на мінімізацію критеріїв оптимізації (особливо на етапі проектування СП). І в цьому контексті доцільно використовувати термін не оптимальний проєкт, а «достатній», «кращий» або «квазіоптимальний». Такий підхід дозволяє використовувати евристичні методи рішення задач проектування і застосовувати адаптацію. Для цього доцільно використовувати принцип адаптивної достатності, який дозволяє визначити достатній (не надлишковий) рівень деталізації вихідних параметрів, який може бути визначений на підставі формалізованого аналізу умов і цілей проектування СП, що дозволяє знайти таке рішення задачі, при якому обрана цільова функція досягає свого екстремуму»

5. Недосконалість результату отриманого на етапі проектування призводить до того, що під час подальшої експлуатації виникає необхідність провести адаптацію СП до нових вимог користувачів або до змін зовнішнього середовища. Це відбувається на етапах реконфігурації та/або реконструкції СП. Реконфігурація/реконструкція (реструктуризація) передбачає гнучке реагування на зміну умов функціонування СП шляхом адаптивного управління структурно-функціональними параметрами та характеристиками СП в умовах апріорної невизначеності її стану, а самі стадії реконфігурації/реконструкції можна розглядати, як адекватну реакцію СУ на зміни умов функціонування СП.

6. Адаптація це неперервна задача, яка вирішується протягом усіх етапів життєвого циклу СП. Необхідність адаптації зумовлена тим фактором, що в умовах відсутності чіткої формалізації вимог до СП та при наявності динамічних змін ЗС, на етапі проектування не можливо сформувати оптимальну структуру сервісної платформи. В таких умовах створюється квазіоптимальне рішення, яке в процесі подальшої експлуатації адаптується під нові вимоги та умови.

7. Формалізована задача оптимального проектування СП, яка вирішується в умовах динамічних змін як ЗС, так і самого об'єкта (сервісної

платформи), ставить досить складну проблему щодо вибору достатнього набору вхідних параметрів. Ідентифікація вхідних параметрів моделі СП пов'язана з оцінкою чисельних значень вихідних параметрів в режимі сталого функціонування СП – відсутній будь-який вплив на об'єкт з боку системи управління. Базовими даними для ідентифікації необхідної структури *Strc* СП є аналіз взаємодії його входів $X(t)$ та виходів $Y(t)$ під час взаємодії з ЗС.

8. Необхідність реконфігурації СП виникає на стадії експлуатації, і обумовлена тим, що на етапі проєктування СП зазвичай знаходять «квазіоптимальне» рішення. Реконфігурація передбачає гнучке реагування на зміну умов функціонування СП шляхом адаптивного управління функціональними параметрами та характеристиками СП в умовах апріорної невизначеності її стану, тобто відбувається параметрична адаптація синтезованої структури СП.

9. Залежно від форми цільової функції та характеру обмежень, формалізовані задачі адаптації можуть мати лінійний або не лінійний характер. Здебільшого задачі оптимізації в інфокомунікаціях мають не лінійний характер, тому для їх рішення доцільно використовувати методи нелінійної оптимізації. Ці методи не завжди дозволяють знайти глобальний оптимум, це можливо лише у тому випадку коли проблема володіє властивістю опуклості, а формалізована задача його не має, тому для розробки алгоритму рішення задачі запропоновано скористатись ГА. Наявність таких операцій як відбір, схрещування та мутація дозволяють ГА уникати пастки «локального екстремуму». Часові та ресурсні витрати на роботу ГА можна обмежувати шляхом визначення максимального числа поколінь або визначення мінімального порогу зростання цільової функції.

10. Для рішення формалізованих задач, в роботі розроблено модифікований ГА, який використовує трираундовий турнірний відбір, елітизм та випадкову схему мутації. Таке компонування операцій ГА дозволяє пришвидшити його роботу.

4 ПОСТАНОВКА ТА ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ОПТИМІЗАЦІЇ СЕРВІСНИХ ПЛАТФОРМ З ВИКОРИСТАННЯМ АДАПТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ І ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ

4.1 Задача оптимізації сервісної платформи надання послуги IPTV

В класичному випадку СП IPTV проектується як розподілена структура. Узагальнена схема сервісної платформи IPTV, яка містить усі функціональні компоненти наведена на рис. 4.1. Сервісна платформа IPTV містить такі компоненти[104-106]

- джерела контенту;
- головну станцію IPTV – інтелектуальна платформа надання сервісів, яка містить обладнання формування та надання послуг, авторизації, тарифікації, управління послугами;
- обладнання інфокомунікаційної мережі, яке виконує задачі з транспортування послуг від джерела до споживача;
- абонентську платформу.

Очевидно, що для рішення задачі оптимального проектування сервісної платформи надання послуги IPTV у першому наближенні такий рівень деталізації не потрібний. Як було продемонстровано у розділі 3.1 складність проектуванням СП, обумовлена необхідністю врахування та аналізу досить великої кількості факторів (вихідних даних), що впливають на ефективність її вирішення. А це досить складно зробити, через те що нам достовірно не відомі умови функціонування зовнішнього середовища. Тому скористуємось запропонованим принципом адаптивної достатності і спростимо наведену на рис. 4.1 функціональну схему СП IPTV. Для рішення задачі оптимального проектування доцільно визначити три основних компоненти СП (рис. 4.2) [102 103]:

Центр формування та
розповсюдженню контенту

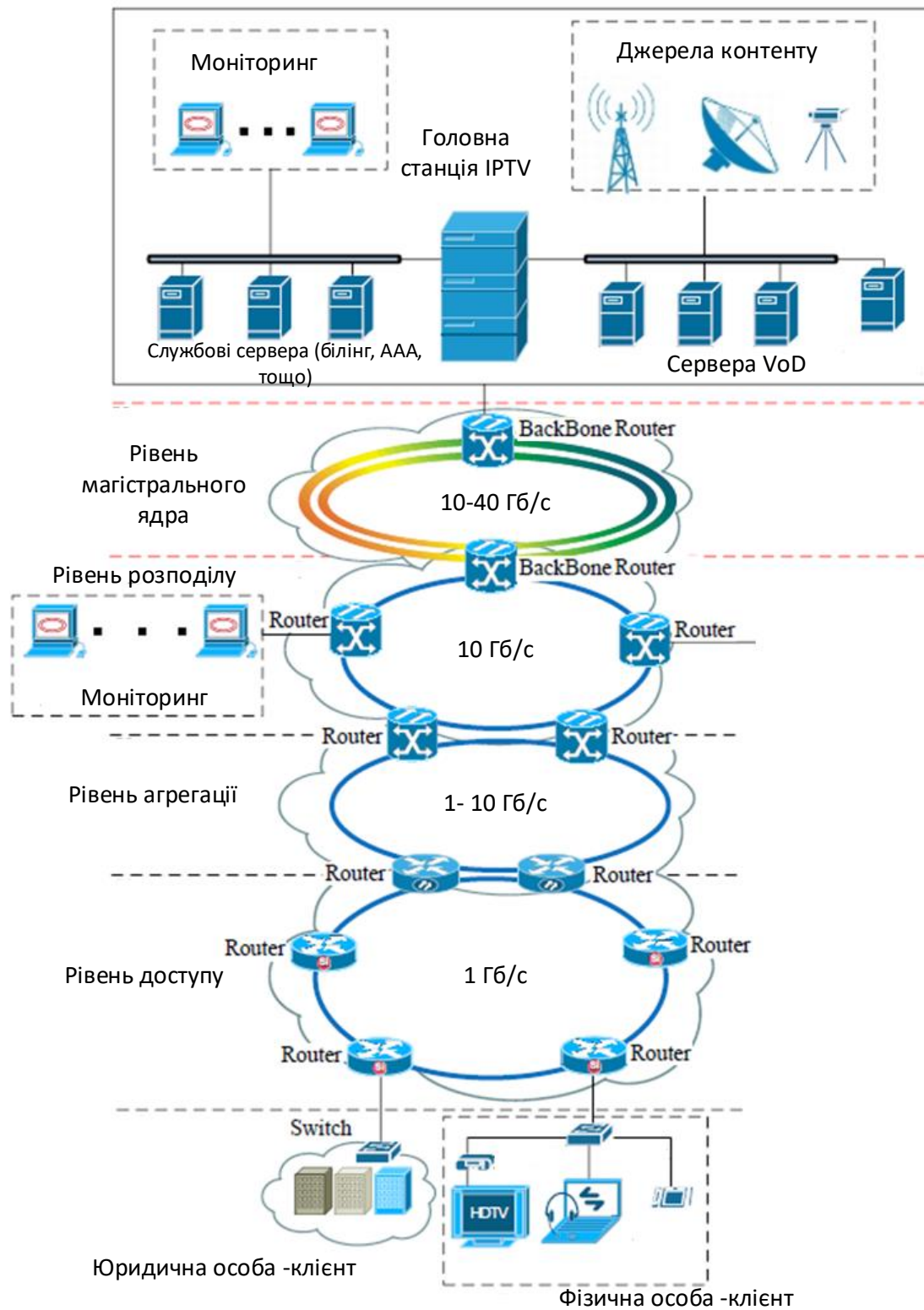


Рисунок 4.1 – Узагальнена схема сервісної платформи IPTV

– сервер головної станції IPTV

- мережа надання послуг;
- термінальне обладнання клієнтів.

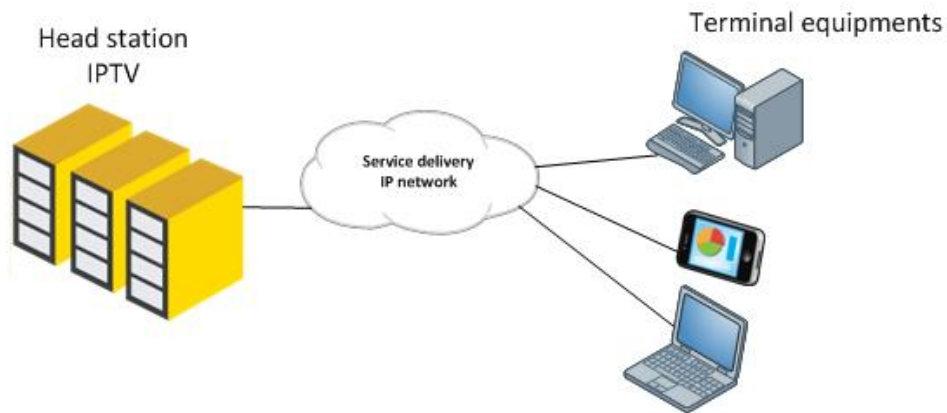


Рисунок 4.2 – Спрощена схема сервісної платформи сервісу IPTV

Представимо спрощену схему СП у вигляді моделі морфологічного опису – сформуємо модель страт. На рис. 4.3 наведений приклад розділу СП на страти з урахуванням існуючих рекомендації. Нижня страта являє ресурсну базу, яка формує апаратно-програмний комплекс усіх трьох складових компоненті СП – сервера головної станції, інфокомунікаційної мережі та термінального устаткування. Друга страта визначає технологічні аспекти функціонування СП, третя страта визначає параметри якості та показники безпеки, четверта страта – це управління, і п'ята – економічні показники.

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

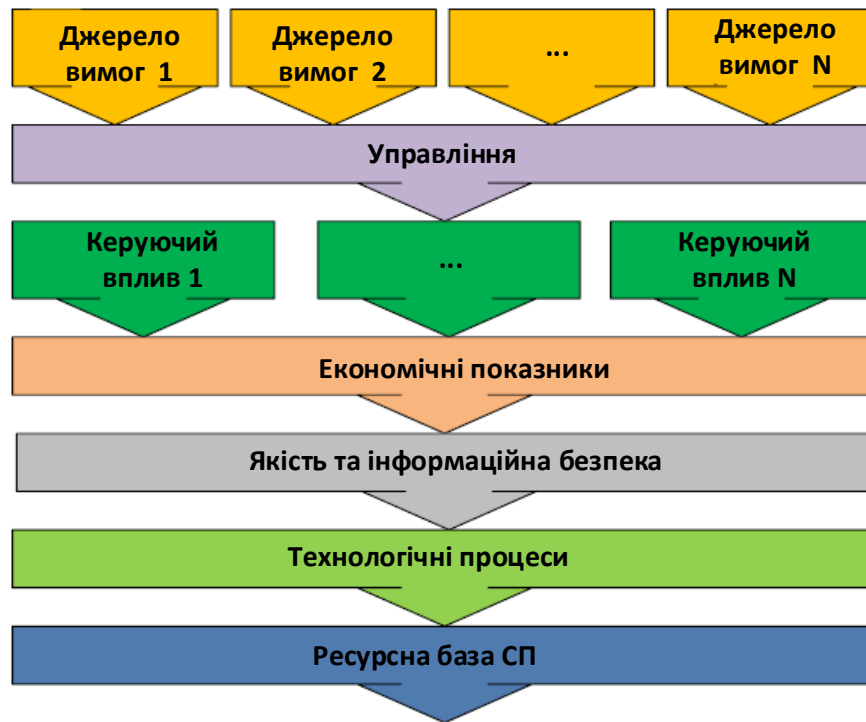


Рисунок 4.3 – Модель СП IPTV у вигляді страт

Відповідно до моделі морфологічного опису СП IPTV, в якості незалежних внутрішніх змінних задачі визначимо набір технічних характеристик TTH , набір експлуатаційних характеристик TTE та набір вартісних характеристик компонентів C , які можуть бути використані для створення платформи послуги IPTV, а саме серверів та каналів мережі надання послуги IPTV.

В якості технічних характеристик сервера будемо розглядати потужність процесора - CPU та об'єм оперативної пам'яті - RAM . Тоді сукупність технічних характеристик TTH^{Ser} n серверів, які можуть бути використані для організації головної станції IPTV, можна представити у вигляді:

$$TTH^{Ser} = \{ \langle CPU^{Ser}(i), RAM^{Ser}(i) \rangle \} = \{ \langle CPU_1^{Ser}, RAM_1^{Ser} \rangle, \langle CPU_2^{Ser}, RAM_2^{Ser} \rangle, \dots, \langle CPU_n^{Ser}, RAM_n^{Ser} \rangle \}, i = \overline{1, n} \quad (4.1)$$

Експлуатаційними характеристиками сервера $i \in MTBF$ (Mean Time Between Failure) та $MTTR$ (Mean Time To Repair) [107]. Множину експлуатаційних характеристик TTE^{Ser} n серверів можна представити у вигляді:

$$TTE^{Ser} = \{ \langle MTBF^{Ser}(i), MTTR^{Ser}(i) \rangle \} = \{ \langle MTBF_1^{Ser}, MTTR_1^{Ser} \rangle, \langle MTBF_2^{Ser}, MTTR_2^{Ser} \rangle, \dots, \langle MTBF_n^{Ser}, MTTR_n^{Ser} \rangle \}, i = \overline{1, n} \quad (4.2)$$

Набір вартісних характеристик n серверів можна представити у вигляді:

$$C^{Ser} = \{ c^{Ser}(i) \}, i = \overline{1, n} \quad (4.3)$$

Компоненти мережі надання послуг IPTV можуть бути представлені набором технологічних характеристик TTH^{Ch} , а саме, набором швидкостей k каналів мережі:

$$\bar{V} = \{ v(i) \}, i = \overline{1, k} \quad (4.4)$$

В якості сукупності TTE^{Ch} експлуатаційних характеристик каналів мережі надання послуг IPTV будемо розглядати середній час напрацювання на відмову ($MTBF$) та середній час відновлення ($MTTR$). Ці характеристики залежать від довжини каналів зв'язку, забезпечуваної швидкості передачі і визначені в рекомендації G.826 [107]:

$$TTE^{Ch} = \{ \langle MTBF^{Ch}(i), MTTR^{Ch}(i) \rangle \} = \{ \langle MTBF_1^{Ch}, MTTR_1^{Ch} \rangle, \langle MTBF_2^{Ch}, MTTR_2^{Ch} \rangle, \dots, \langle MTBF_k^{Ch}, MTTR_k^{Ch} \rangle \}, i = \overline{1, k} \quad (4.5)$$

Сукупність вартісних характеристик k каналів мережі надання послуг IPTV можна представити у вигляді:

$$C^{Ch} = \{ c^{Ch}(i) \}, i = \overline{1, k} \quad (4.6)$$

Вектор \bar{X} внутрішніх змінних системи в загальному вигляді може бути представлений набором: вхідних даних задачі, характеристик n серверів та характеристик k каналів мережі доставки, а саме:

$$\begin{aligned} \bar{X} &= [\bar{X}^{In}, \{ \bar{X}_i^{Ser} \}, \{ \bar{X}_j^{Ch} \}] \\ \bar{X}^{In} &= \{ x_z \} = \{ L_k, q, \lambda, L_r \}, z = \overline{1, 4} ; \\ \bar{X}_i^{Ser} &= \{ x_{ir} \}, i = \overline{1, n}; r = \overline{1, m} \\ \bar{X}_j^{Ch} &= \{ x_{jp} \}, j = \overline{1, k}; p = \overline{1, l} \end{aligned} \quad (4.7)$$

де z - кількість вхідних даних задачі; m - кількість змінних, що описують всю сукупність характеристик n серверів, залучених до організації сервісної

платформи; l - кількість змінних, що описують всю сукупність характеристик k каналів мережі надання послуг IPTV.

Інакше:

$$\bar{X} = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_h) \quad (4.8)$$

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

На внутрішні змінні накладаються наступні обмеження:

$$x_i \geq 0, \forall x_i \in \bar{X}, i = \overline{1, n} \quad (4.9)$$

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 (характеризує надійність передачі контенту) сервісної платформи та приведені витрати G , тобто:

$$Y_1 = T^{avr}, Y_2 = K, Y_3 = G. \quad (4.10)$$

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

$$\begin{aligned} Y_1 &= T^{avr} \leq T_{\max} \\ Y_2 &= K = K_{in} \\ Y_3 &= G \leq G_{\max} \\ Y_i &> 0, \forall Y_i \in Y, i = \overline{1, 3} \end{aligned} \quad (4.11)$$

де $T_{\max} = 400$ мс - максимально можливий час відгуку платформи на запити користувачів, визначений рекомендаціями МСЕ [15, 16]; 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:

$$Y_k = f(\bar{X}), \forall Y_k \in \bar{Y} \quad (4.12)$$

Нехай середній час відповіді T^{avr} на запити користувачів визначається як:

$$T^{avr} = T_r^{avr} + T_w^{avr} + T_s^{avr} + T_c^{avr} \quad (4.13)$$

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.

Визначення цих параметрів вимагає розгляду мережевої складової сервісної платформи, яка може бути представлена типовою деревоподібною структурою мережі SN , що забезпечує підключення заданої кількості q абонентів до головної станції IPTV.

1. Сервісна платформа IPTV надає послуги у режимі multicast (рис. 4.4), який є найбільш вживаним для даної СП. Необхідність застосування цього режиму передачі трафіку обґрунтовується такою властивістю сервісів IPTV – уподобання більшості користувачів у пікові години найбільшого навантаження співпадають [102 - 105].

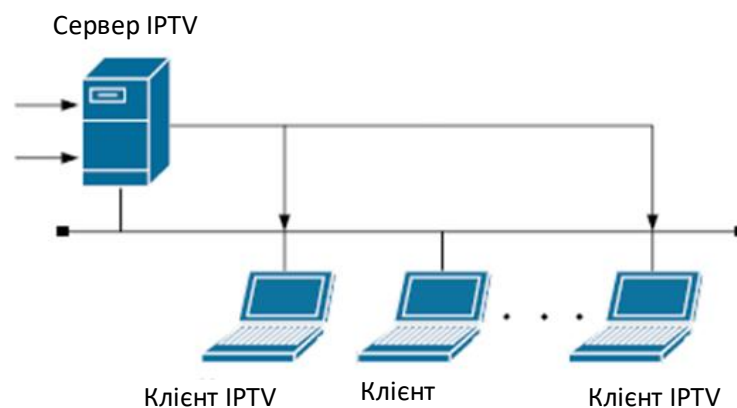


Рисунок 4.4 – Режим multicast у платформі IPTV

Представимо вихідну мережу надання послуг у вигляді зваженого графа $G(N, E)$, де N - множина вершин, що відповідають вузлам мережі, а E - множина ребер, що відповідають лініям зв'язку. Ваговими характеристиками вершин є час затримки повідомлень у вузлах $\{t_i\}, i \in N, i = \overline{1, n}$. Ваговими характеристиками ребер є швидкість передачі $\{v_{ij}\}$, де $(i, j) \in E, i, j \in N$. Нехай M - множина шляхів передачі в мережі $M = M' \cup M'' = \{\mu_{is}\} \cup \{\mu_{si}\}$ де $\{\mu_{is}\}$

множина шляхів передачі запиту від i -го користувача до сервера s , а $\{\mu_{si}\}$ множина шляхів передачі контенту від сервера s до i -го користувача (рис. 4.5).
Очевидно, що значення T_r^{avr} та T_c^{avr} залежать від швидкості передачі запиту користувача та швидкості передачі запитуваного контенту, відповідно, вздовж деякого шляху $\mu \in M$ та від часу затримки t_i у вузлах зв'язку.

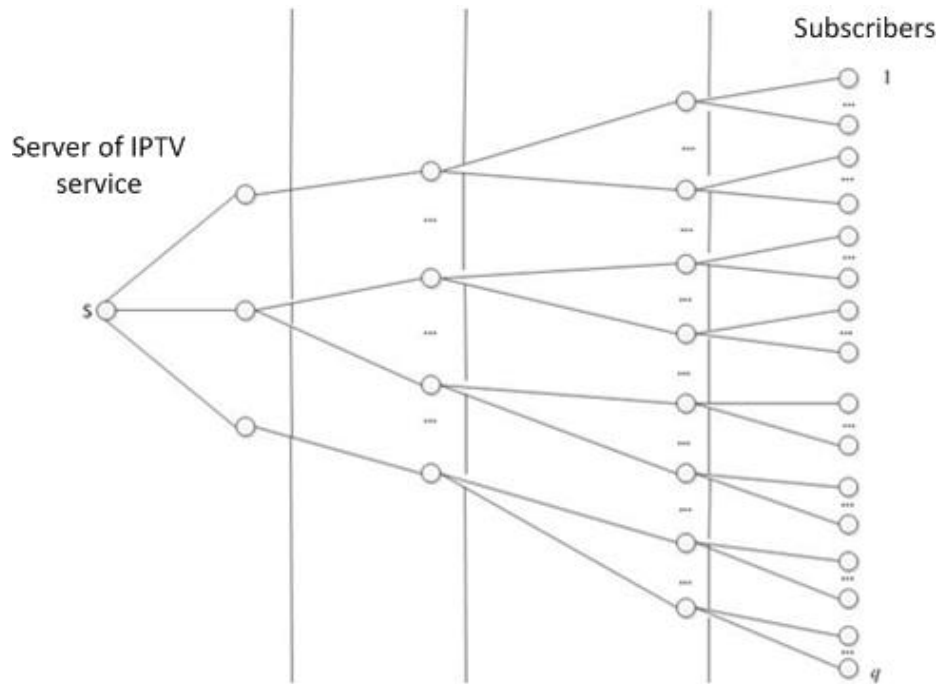


Рисунок 4.5 – Маршрут надання послуг

Середній час передачі запиту користувача визначається як: [17]

$$T_r^{avr} = \frac{1}{q} \left[\sum_i t_i + \left(\sum_i \sum_j \frac{1}{v_{ij}} \sum_k L_{rk}^{avr} \right) \right] \quad (4.14)$$

$$i \in N(\mu_{is}), , i, j \in N(\mu_{is}) \quad k : i, j \in N(\mu_{ks})$$

і середній час доставки запитуваного контенту відповідно:

$$T_c^{avr} = \frac{1}{q} \left[\sum_i t_i + \left(\sum_i \sum_j \frac{1}{v_{ij}} \sum_k L_{ck}^{avr} \right) \right] \quad (4.15)$$

$$i \in N(\mu_{si}), , i, j \in N(\mu_{si}) \quad k : i, j \in N(\mu_{ki})$$

де L_{rk}^{avr} - середній обсяг запиту користувача в байтах; L_{ck}^{avr} - середній обсяг контенту, який запитує користувач в байтах; v_{ij} - швидкість каналу передачі даних; q - кількість абонентів; t_i - затримка в i -му вузлі мережі.

Значення t_i залежить від функціонального призначення вузла (вузол доступу, шлюз тощо) і може приймати ряд цілочисельних значень, при цьому будь-який випадок $t_i \leq 10 \text{ ms}$ [108-110].

Припустимо, що вхідний потік запитів є простим пуассонівським процесом з інтенсивністю потоку запитів λ (початкові дані), а завантаження (утилізація) сервера ρ не перевищує 80%. Визначимо продуктивність сервера RPS наступним чином:

$$\begin{aligned} RPS &= \min\{RPS^{CPU}, RPS^{MEM}\} \\ RPS^{CPU} &= \lambda^{CPU} = \frac{CPU^{\Sigma} - CPU^{SYS}}{CPU^q} \\ RPS^{MEM} &= \lambda^{MEM} = \frac{MEM^{\Sigma} - MEM^{SYS}}{MEM^q} \end{aligned} \quad (4.16)$$

де RPS^{CPU} - продуктивність сервера з точки зору можливостей процесора; RPS^{MEM} - продуктивність сервера з точки зору можливостей підсистеми пам'яті; λ^{CPU} - максимальна інтенсивність запитів, яку може обробити сервер з урахуванням можливостей процесора; λ^{MEM} - максимальна інтенсивність запитів, яку може обробити сервер з урахуванням можливостей підсистеми пам'яті; CPU^{Σ} - потужність процесора сервера; CPU^{SYS} - потужність процесора, необхідна для виконання внутрішньосистемних завдань; CPU^q - потужність процесора, виділена для обробки одного запиту; MEM^{Σ} - ємність підсистеми пам'яті сервера; MEM^{SYS} - обсяг пам'яті, необхідний для виконання внутрішньосистемних завдань; MEM^q - обсяг пам'яті, виділений для обробки одного запиту.

Тоді необхідна кількість N^{Ser} серверів визначається як:

$$N^{Ser} = \left\lceil \frac{\lambda}{RPS} \right\rceil \quad (4.17)$$

Згідно з [18] середній час перебування запиту в черзі на обслуговування сервером:

$$T_w^{avr} = \frac{\rho \cdot T_s^{avr}}{1 - \rho} \quad (4.18)$$

де

$$\rho = \frac{\lambda \cdot T_s^{avr}}{N^{Ser}} \quad (4.19)$$

Враховуючи вищесказане, вираз для Y_1 матиме наступний вигляд:

$$Y_1 = T^{avr} = \frac{\rho}{\lambda} \left(N^{Ser} + \frac{\rho}{1 - \rho} \right) + \frac{1}{q} \left[2 \sum_i t_i + \left(\sum_i \sum_j \frac{1}{v_{ij}} \sum_k L_{rk}^{avr} \right) + \left(\sum_i \sum_j \frac{1}{v_{ij}} \sum_k L_{ck}^{avr} \right) \right] \quad (4.20)$$

$$i \in N(\mu_{is}), , i, j \in N(\mu_{is}) \quad k : i, j \in N(\mu_{ks}) \quad i, j \in N(\mu_{si}) \quad k : i, j \in N(\mu_{ki})$$

Надійність сервісної платформи може бути виражена через коефіцієнти доступності її елементів. Згідно з [107], коефіцієнт готовності i -го елемента K_i визначається як:

$$K_i = \frac{MTBF_i}{MTBF_i + MTTR_i} \quad (4.21)$$

Використовуючи вираз (4.21), коефіцієнт Y_2 доступності сервісної платформи можна визначити як:

$$Y_2 = K^{SP} = \prod_{i=1}^n K_i = \prod_{i=1}^n \frac{MTBF_i}{MTBF_i + MTTR_i} \quad (4.22)$$

Приведені витрати G для сервісної платформи визначаються наступним чином:

$$G = K_{TE} + K_n Q \quad (4.23)$$

де, K_{TE} - річні операційні витрати; K_n - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних інвестицій; Q - капітальні витрати на сервісну платформу:

$$Q = N^{Ser} \cdot C^{ser} + \sum_{i=1}^k C_i^{Ch} \quad (4.24)$$

Тому:

$$Y_3 = G = K_{TE} + K_n (N^{Ser} \cdot C^{ser} + \sum_{i=1}^k C_i^{Ch}) \quad (4.25)$$

Розв'язок системи рівнянь зв'язку дозволить отримати множину допустимих значень $\overline{X}_{PS} \in \overline{X}$ для множини допустимих значень $\overline{Y}_{PS} \in \overline{Y}$.

Для знаходження оптимального, з точки зору поставленої в задачі мети, варіанту набору компонентів платформи сервісу IPTV серед множини допустимих, пропонується використовувати цільову функцію γ виду:

Для знаходження оптимального, з точки зору поставленої в задачі мети, варіанту набору компонентів платформи сервісу IPTV серед множини допустимих, пропонується використовувати цільову функцію γ виду:

$$\gamma = \frac{T^{avr}}{T_{\max}} + \frac{G}{G_{\max}} \rightarrow \min \quad (4.26)$$

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

Оскільки оптимум у такій постановці задачі є умовним, його пошук повинен здійснюватися з урахуванням обмежень:

$$\begin{aligned} Y_1 = f(\overline{X}) &\leq T_{\max} \\ Y_2 = f(\overline{X}) &= K_{in} \\ Y_3 = f(\overline{X}) &\leq G_{\max} \\ x_i &\geq 0, \forall x_i \in \overline{X} \quad i = \overline{1, n} \end{aligned} \quad (4.27)$$

Розв'язком задачі є вектор $\overline{X}_0 \in \overline{X}$, значення якого визначають необхідні параметри компонентів для побудови сервісної платформи.

Для визначення характеру цільової функції задаємося численними вихідними даними та проведемо моделювання у програмі Matlab. Результат моделювання наведений на рис. 4.6 демонструє область пошуку рішення та показує нелінійний характер задачі.

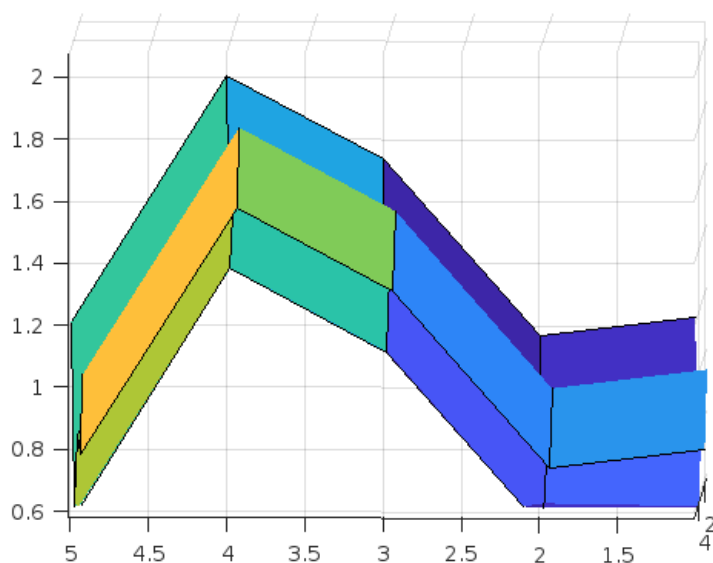
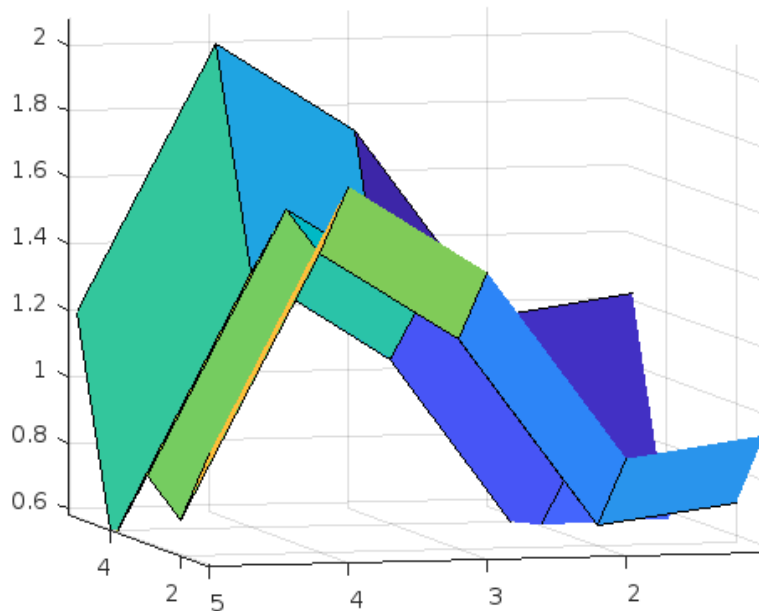
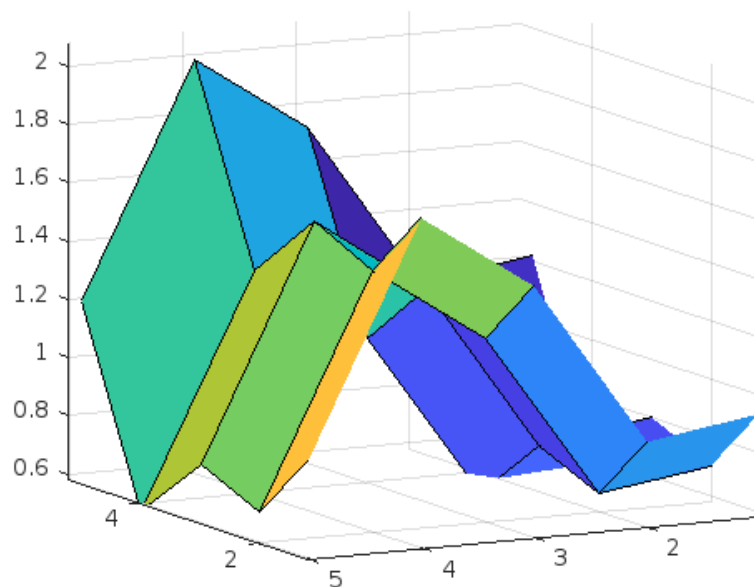


Рисунок 4.6 – Область пошуку рішень з різних проекцій

Для пошуку рішення доцільно скористатись генетичним алгоритмом запропонованим у розділі 3. Також дана задача може бути вирішена з допомогою відомих методів нелінійного математичного програмування.

Моделювання даної задачі та пошук рішення будемо проводити у середовищі Matlab. Дане середовище має вбудований набір інструментів для рішення оптимізаційних задач, в тому числі присутня й реалізація генетичних алгоритмів.

На першому етапі потрібно кодування хромосом. Для даної задачі в якості хромосоми буде виступати послідовність характеристик сервісної платформи, а саме випадковим чином обрані значення з множин 4.1 – 4.7, тобто хромосома являє собою послідовність генів, кожен з яких належить одній з множин 4.-4.7. Сукупність генів утворює певне рішення задачі. Для пошуку оптимального рішення проведемо моделювання проблеми у Matlab та за допомогою модулю оптимізації застосуємо генетичний алгоритм з параметрами визначеними у розділі 3 (рис. 4.7).

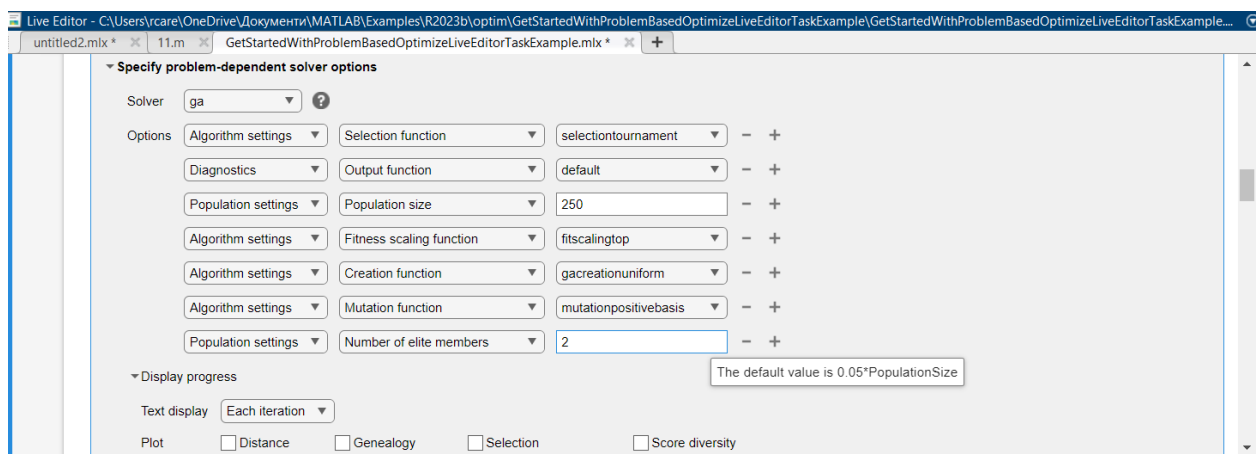


Рисунок 4.7 – Налаштування параметрів генетичного алгоритму

Отримані результати (графік цільової функції та критерій зупинки алгоритму) наведені у табл. 4.1 та рис. 4.8.

Таблиця 4.1 – Динаміка зміни значень 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	26,99997	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	27,28999	-0,05
121-130	27,288574	0,06
131-140	27,1910011	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

Результати моделювання показують, що максимальне значення цільової функції було отримано у 107 поколінні. Подальша робота генетичного алгоритму показала зниження цільової функції, а отже набір характеристик, який утворює 107 покоління і є оптимальним рішенням задачі створення оптимальної сервісної платформи для надання послуги IPTV.

Також було проведено моделювання роботи запропонованого методу з різними параметрами генетичного алгоритму (різні схеми кросоверу та мутації), що наведено у табл. 4.2.

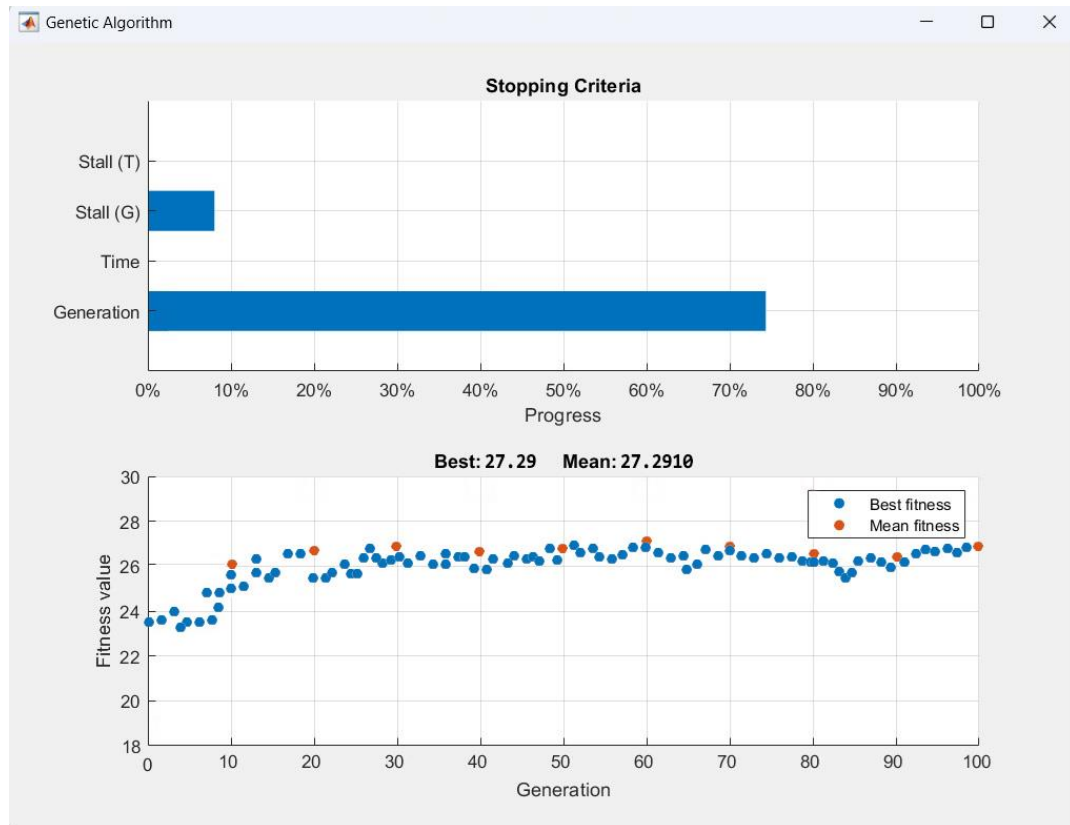


Рисунок 4.8 – Результати моделювання

Таблиця 4.2 -Результати роботи методу за різних схем схрещування та мутації

Номер експерименту	Тип схрещування	Тип мутації	Значення цільової функції	Час виконання, сек.
1	Одноточкове	Випадкова	27,29101	17,33
2	Двоточкове	Випадкова	27,291011	17,51
3	Одноточкове	Адаптивна	27,289054	17,295
4	Двоточкове	Адаптивна	27,289999	17,315
5	Одноточкове	Гаусівська	27,29	17,95
6	Двоточкове	Гаусівська	27,291	18,015

З таблиці 4.2 бачимо, що похибка цільової функції для різних схем схрещування та мутації не перевищує 0,03%. З точки зору ефективності реалізації – найгірший результат показує Гаусівська мутація, внаслідок чого час роботи методу зростає на 5%. Отже, оптимальний варіант для запропонованого методу є комбінація одноточкового схрещування з випадковою мутацією.

Задачу даного класу можна вирішити й відомими нелінійними методами оптимізації, такими як гілок та границь, метод штрафних функцій, метод проєкції градієнта, метод внутрішньої точки. Всі ці методи реалізовані у модулі Optimization, тому проведемо моделювання рішення визначеної задачі за допомогою цих методів. Результати наведено у таблиці 4.3 (порівнюємо із запропонованим методом з одноточковим схрещуванням та випадковою мутацією) та рис. 4.10

Таблиця 4.3 – Оцінка ефективності запропонованого методу

Метод рішення задачі оптимізації	Значення цільової функції	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	12,3
Метод гілок та границь	27,29101	18,41

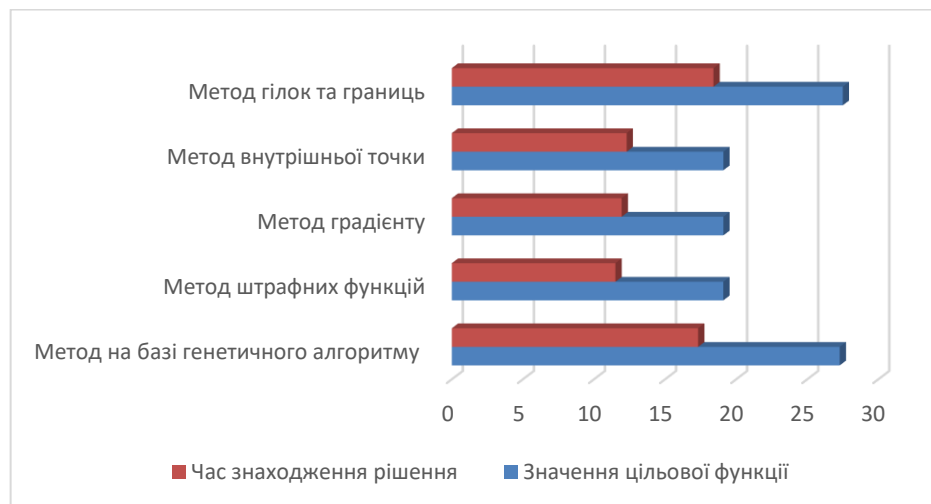


Рисунок 4.10 – Оцінка ефективності запропонованого методу

Аналізуючи дані таблиці 4.3 можна зробити такі висновки:

- Метод штрафних функцій, метод градієнту та метод внутрішньої точки знайшли не глобальний максимум (рішення) задачі, а локальний. Це

пояснюється відомим недоліком цих методів – «пасткою локального екстремуму». Дані методи знаходять локальний екстремум і «зависають» в його околицях, через це пояснюється й мінімальний час пошуку рішення.

- Метод гілок та границь знайшов глобальний максимум задачі, але порівняно з запропонованим методом витратив на це на 7% більше часу.

Отже, запропонований метод є більш точним у порівнянні з наявними методами, і дозволяє скоротити час на пошук оптимального рішення.

4.2 Оптимізація сервісної платформи телемедицини

Телемедицина в сучасних умовах грає важливу роль і питання створення сервісних платформ телемедицини є вкрай актуальним. З урахуванням того, що питання проектування, реконструкції та реконфігурації сервісних платформ телемедицини достатньо слабо формалізовані і на теперішній час є певні труднощі з їх реалізацією [111, 115], запропоновані методи та моделі формують базовий інструментарій для вирішення цієї проблеми.

Сервісна платформа телемедицини (рис. 4.10) являє собою сукупність пунктів телемедицини [111-113], які пов'язані між собою каналами зв'язку і які підключають кінцевих споживачів.

З точки зору запропонованого методу, сервісну платформу телемедицини необхідно представити у вигляді морфологічної моделі, але в даному випадку є певні складнощі. Фактично, дослідження в сфері телемедицини мають не системний характер – деяким задачам та проблемам приділена значна увага, а інша навпаки є мало проробленими. Все це призвело до того, що сьогодні практично відсутні уніфіковані підходи та системні рішення щодо розробки та створення технічних проєктів зі створення/проєктування та реконфігурації/реконструкції сервісних платформ телемедицини. Наявні сервісні платформи телемедицини створювались відокремлено, без координації та планування подальшої інтеграції з іншими подібними

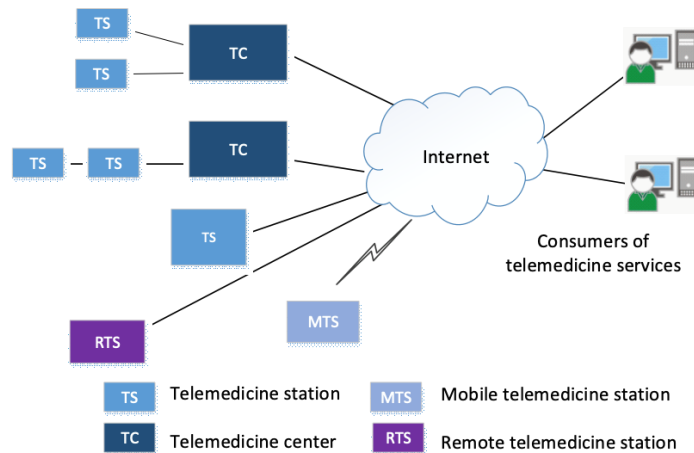


Рисунок 4.10 – Типова структура сервісної платформи телемедицини

платформами, як наслідок – значна частина реалізованих проєктів є несумісними між собою, що в свою чергу гальмує розвиток загальнонаціональних сервісних платформ телемедицини. Відповідно, задача створення та розвитку сервісних платформ телемедицини набуває певних особливостей. Так на першому етапі, перш ніж розпочати синтез моделі морфологічного опису сервісної платформи телемедицини потрібно вирішити задачу класифікації, яка є складовою частиною етапу проєктування. Даний аспект передбачає визначення класу як самої платформи, так і її складових компонентів. В свою чергу це дозволить більш якісно провести формалізацію страт, і в першу чергу ресурсної страти. Задача класифікації сервісних платформ телемедицини більш детально розглянуті у [71, 117].

Після, визначення класу сервісної платформи, доцільно здійснити синтез оптимальної топологічної структури сервісної платформи телемедицини. Сервісна платформа телемедицини створюється на базі ієрархічного принципу – телемедичні пункти та центри утворюють ядро сервісної платформи, споживачі телемедичних послуг та їх термінали доступ до інформаційної мережі утворюють рівень доступу [72]. Зазвичай, стаціонарні пункти телемедицини розміщуються на території діючих медичних закладів або в містах де вже підготовлена необхідна інфраструктура. Таким чином, місце

розташування пунктів телемедицини відомо, але очевидно, що кожний пункт телемедицини здатний обслуговувати кінцеву кількість користувачів, яка визначається класом цього пункту телемедицини [71, 72, 117]. В свою чергу, споживачі телемедичних послуг можуть підключатись лише до одного пункту телемедицини (того, з яким у нього укладений договір). Таким чином синтез оптимальної топологічної структури сервісної платформи телемедицини є окремим випадком задачі оптимального розміщення (потрібно розподілити споживачів між телемедичними пунктами). Даній задачі властиві усі характеристики, які були розглянуті у 3 розділі і для її рішення застосуємо запропонований метод.

Після класифікації сервісної платформи, можна формалізувати її ресурсну страту, тобто сформувати вектор параметрів, які описують платформу. Відповідно до сформованого принципу достатності, для рішення задачі синтезу оптимальної топологічної структури достатньо взяти до уваги лише деякі з них. Задача формалізується наступним чином: є дві групи вузлів – пункти телемедицини та термінальні системи споживачів телемедичних послуг. Кожний з вузлів має деякі координати у просторі і номер (починаючи з 1). Термінальні системи характеризуються максимальним об'ємом трафіку який вони генерують в одиницю часу, в рамках споживання певних телемедичних послуг. В свою чергу телемедичні пункти характеризуються максимальним обсягом трафіку, який вони здатні опрацювати без додаткової затримки і ємністю (максимальна кількість споживачів, яку він може обслужити). Необхідно синтезувати таку топологічну структуру сервісної платформи телемедицини, яка має мінімальну сумарну затримку надання послуг в межах сервісної платформи. В якості обмежень виступають наступні умови: кожний споживач може бути підключений тільки до одного пункту телемедицини і в межах сервісної платформи не повинно бути не підключених споживачів [113].

Топологія сервісної платформи може бути представлена у вигляді графа, де вузли – це пункти телемедицини та термінальні системи споживачів, а дуги – це лінії зв'язку між ними. В якості вагової характеристики дуги будемо

використовувати евклідові відстані між відповідними вузлами. В якості вхідних параметрів доцільно використати матрицю координат.

На базі вихідних даних формуємо матрицю суміжності $A = (a_{ij})$, де елемент $a_{ij} = 1$, якщо між i -м телемедичним пунктом і j -ою термінальною системою існує зв'язок і $a_{ij} = 0$ в протилежному випадку. Так якщо сервісна платформа містить 4 пункти телемедицини і 10 термінальних систем, та така матриця може мати вигляд такий, як наведено на рис. 4.11.

	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0
$A =$	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1
	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0

Рисунок 4.11 – Приклад матриці суміжності

На базі матриці суміжності сформуємо матрицю ваг W , де в якості елементів вказують затримку передачі даних між відповідними пунктами. У якості критеріальних параметрів, які потрібно включити у цільову функцію застосуємо наступні: F_1 – сума ваг усіх ліній зв'язку в межах сервісної платформи; F_2 – середня сумарна затримка передачі даних по сервісній платформі; F_3 – штрафна сума, яка значно збільшує значення цільової функції у випадку якщо у даному варіанті топологічної моделі кількість підключених до телемедичного пункту термінальних систем перевищує його максимальну ємність.

Для об'єднання параметрів у цільової функції у якості композиційного методу використовуємо підсумовування. Враховуючи неоднорідність одиниць виміру критеріальних параметрів, при підсумуванні використовуємо нормування (приведення до безрозмірних одиниць), а саме:

$$F_1 = \frac{\sum_{\tau_i \in \tau} m(\tau_i)}{m(\tau_i)_{max}} \quad (4.28)$$

де τ – множина ліній зв'язку графу сервісної платформи; $m(\tau_i)$ – вага відповідної лінії зв'язку, $m(\tau_i)_{max}$ – максимальний елемент матриці ваг.

Налаштування параметрів методу наведено на рис. 4.14. Результат роботи алгоритму – для кожної ітерації (покоління) алгоритм генерує матрицю зв'язності, яка відображає топологічну структуру сервісної платформи телемедицини. На рис. 4.15 наведено результат синтезу одного з проміжних варіантів. Результати роботи методу наведені у таблиці 4.4. На рис. 4.16 наведено рішення задачі у вигляді кінцевої матриці зв'язності.

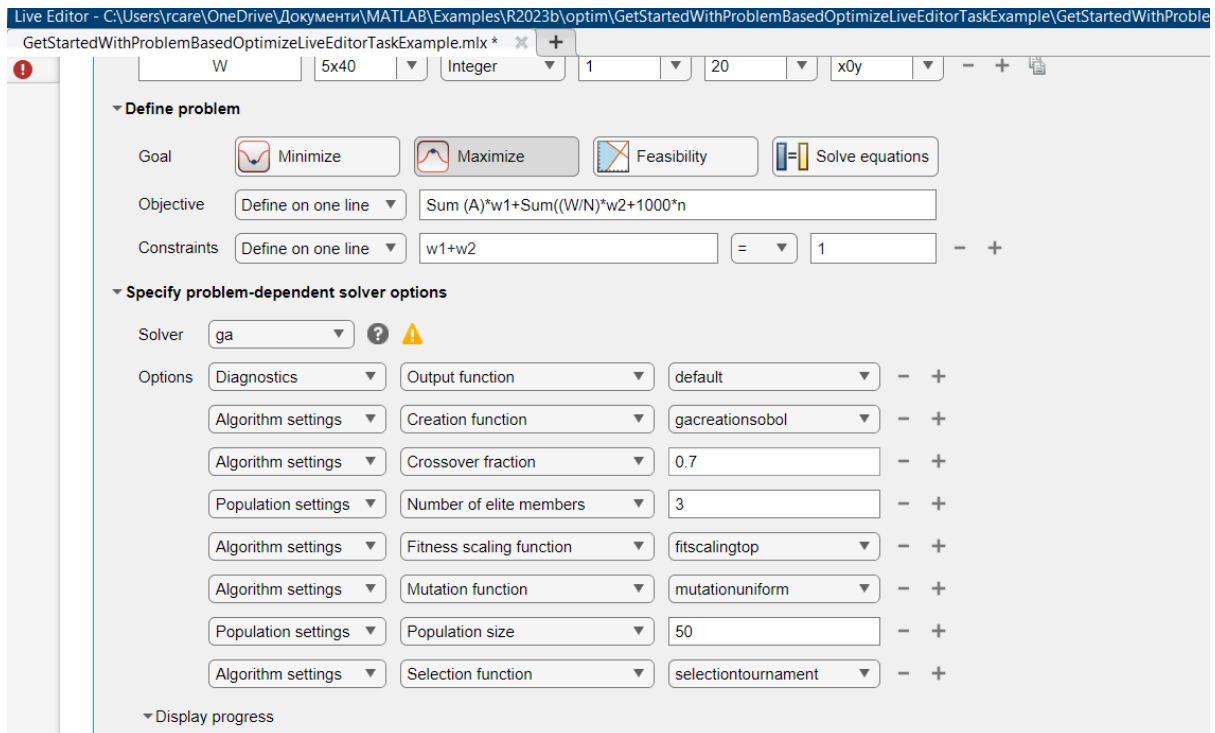


Рисунок 4.14 – Налаштування параметрів алгоритму

Generation	Fune-count	Best f(x)	Max Constraint	Stall Generations
1	10550	25.89693	0	0 2
3	15870	26.74568	0	0 4
5	23850	26.56891	0	0 6
7	35820	26.70698	0	0 8
9	53780	27.30235	0	0 10
11	80720	26.79625	0	0 12
13	121130	26.96984	0	0 14
15	181740	27.36737	0	0 16
17	272660	27.58968	0	0 18
19	409040	27.12606	0	0 20
21	613610	25.90206	0	0 22
23	920460	26.81151	0	0 24
25	1380740	27.28552	0	0 26
27	2071160	26.54337	0	0 28

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34				
1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0			
2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
3	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0		
4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рисунок 4.15 – Синтез проміжного результату (28 покоління)

Таблиця 4.4 – Динаміка зміни цільової функції

Покоління	Динаміка зміни середньої пристосованості хромосом, %	Динаміка зміни найкращої пристосованості хромосом, %
1-10	27,00	9,2
11-20	24,30	6,8
21-30	11,15	2,14
31-40	3,4	0,95
41-50	0,17	0,02

Як можна побачити, для даного прикладу рішення було знайдено на 41 поколінні. Подальше зростання цільової функції не дуже суттєве, а отже знайдену матрицю (рис. 4.16) можна вважати за оптимальне рішення.

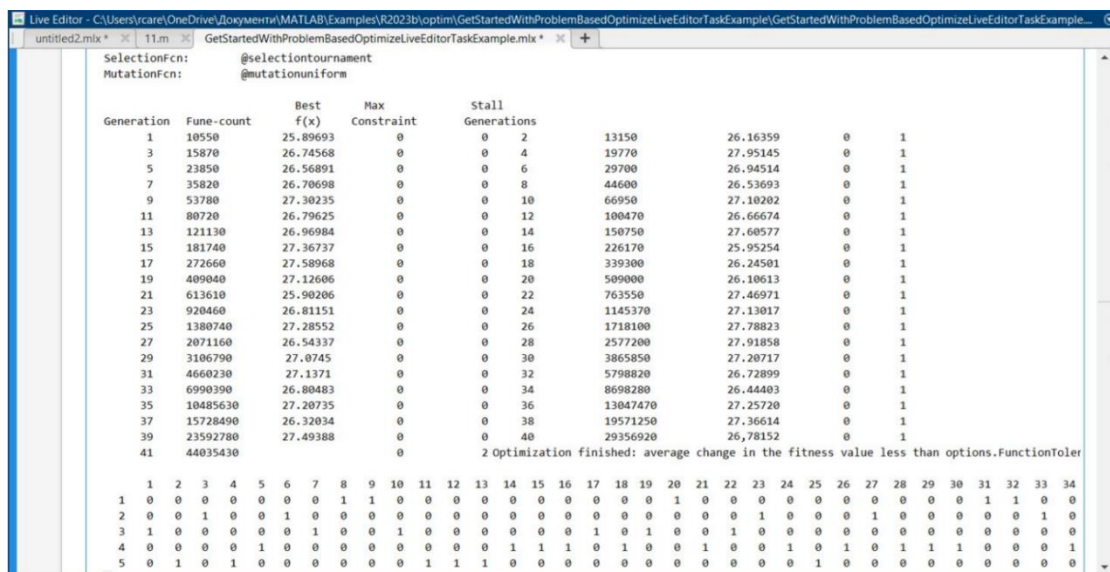


Рисунок 4.16 – Оптимальне рішення задачі

На базі згенерованої матриці можна створити графічне відображення синтезованої оптимальної топологічної структури сервісної платформи телемедицини. На рис. 4.17 наведено графічне відображення одного з проміжних рішень отриманих під час роботи алгоритму, а на рисунку 4.18

наведено графічне відображення оптимальної топологічної структури сервісної платформи телемедицини синтезованої алгоритмом.

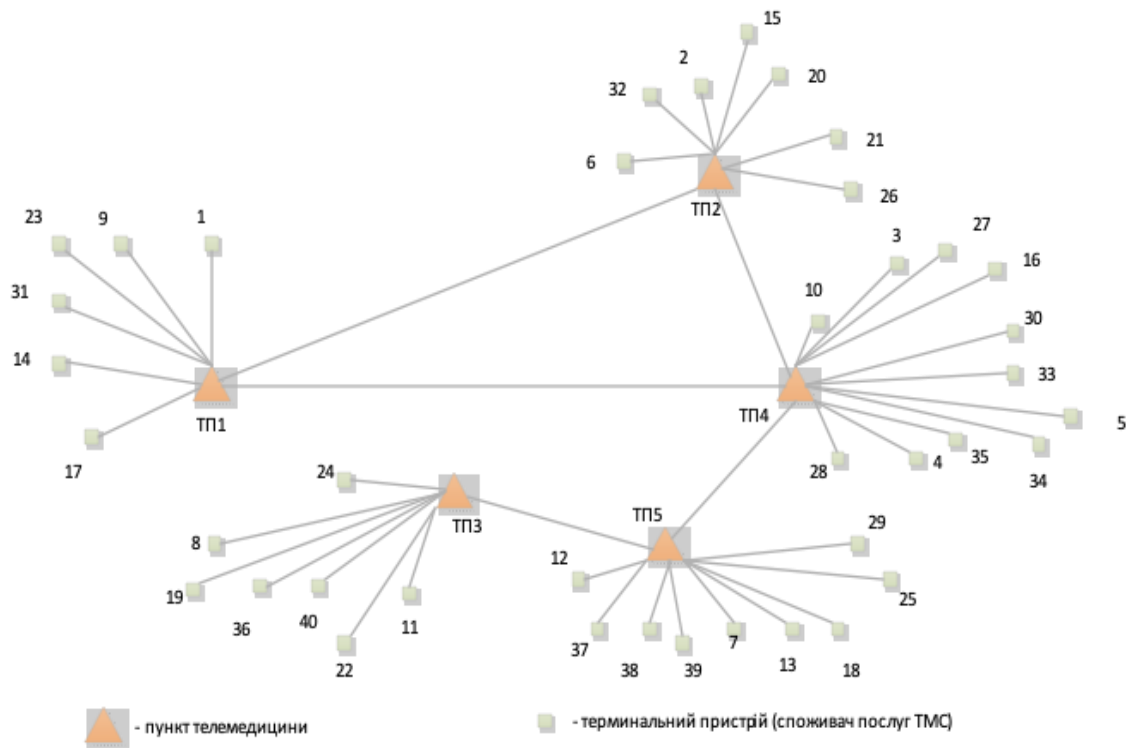


Рисунок 4.17 – Проміжна топологічна структура сервісної платформи телемедицини

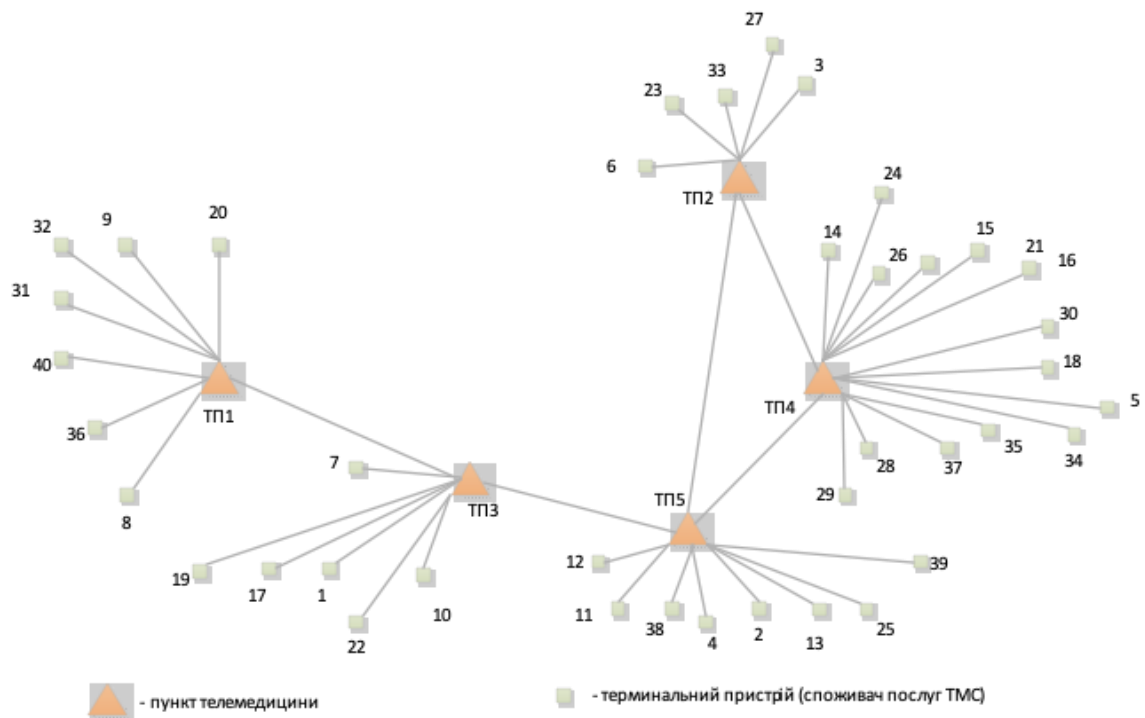


Рисунок 4.18 – Оптимальна топологічна структура сервісної платформи телемедицини

4.3 Практичне використання результатів дослідження

Результати дисертаційного дослідження були застосовані у низці практичних проєктів які реалізовувались в межах співпраці з МСЕ.

В межах ініціативи МСЕ із забезпечення безпечного доступу до ресурсів онлайн середовища, результати роботи було використано для розробки сервісної платформи рекомендаційної системи щодо вибору технічних засобів фільтрації контенту в Інтернеті (рис. 4.19). Дана сервісна платформа пропонує користувачам сервіс автоматизованого вибору системи технічної фільтрації контенту з урахуванням вимог сформованих самим користувачем [118]

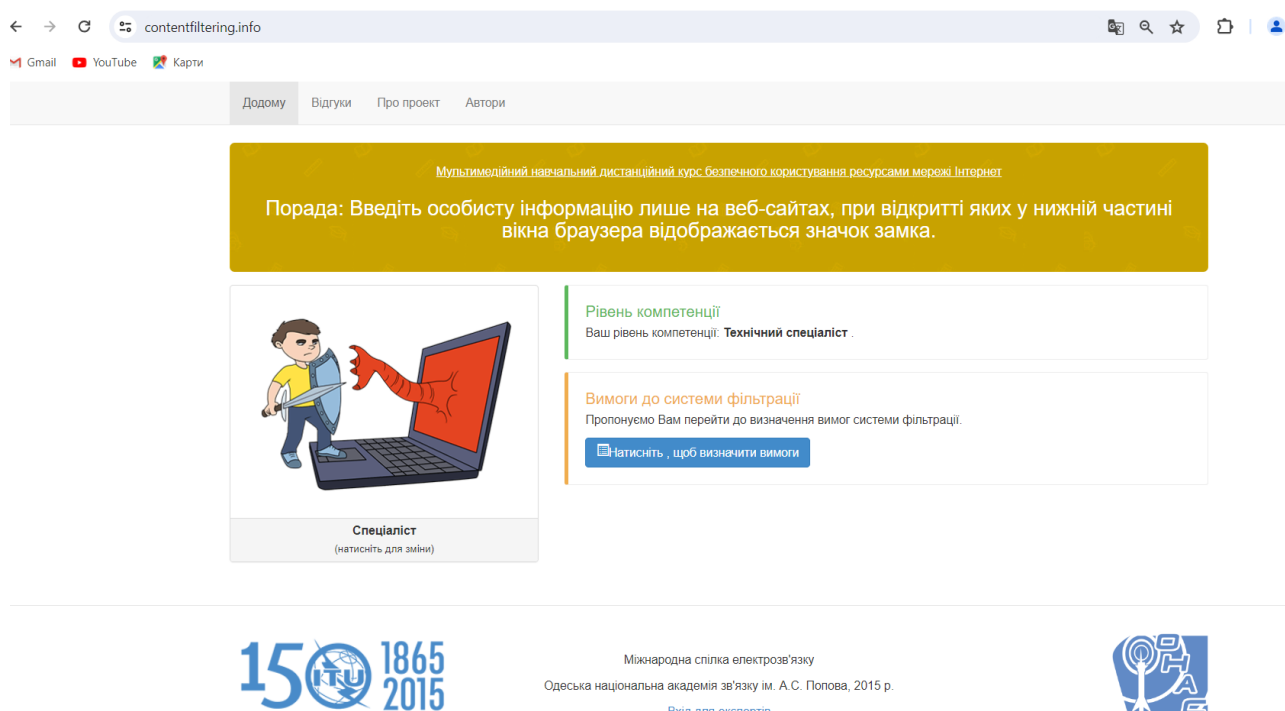


Рисунок 4.19 – Головна сторінка сервісу

Результати дисертаційного дослідження було використано для розробки алгоритму та ідеології функціонування сервісної платформи (рис.4.20). Сервісна платформа доступно в мережі за постійно діючим посиланням: <https://contentfiltering.info/>.

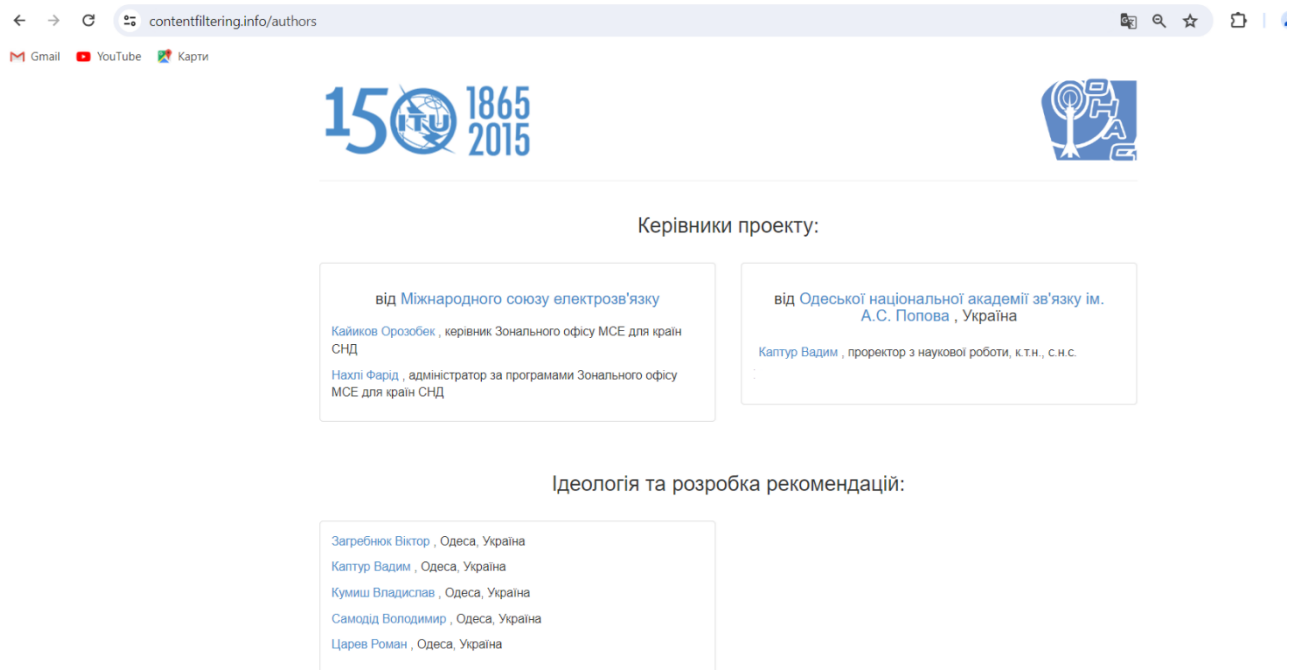


Рисунок 4.20 – Розробники проекту

Подальшим розвитком проекту стала розробка сервісної платформи системи експертного оцінювання і каталогізації ресурсів мережі Інтернет (<https://beta.bwld.online/>). Ідеї дисертаційної роботи були використані для розробки програмного алгоритму реалізації сервісу, отримано авторське свідоцтво на твір (Додаток В).

У рамках ініціативи МСЕ з розвитку широкосмугового доступу до Інтернету, результати дисертаційного дослідження використовувались для створення методології визначення необхідної пропускної здатності каналів доступ до Інтернету з урахування специфіки конкретного об'єкта [119-121] а також для створення сервісної платформи автоматизованого визначення необхідної пропускної здатності каналів з урахуванням специфіки конкретного об'єкта. Інтерфейс системи наведено на рис. 4.21.

To estimate required bandwidth for specific object please select general connectivity application profile, object type, number of users, quality and intensity levels.

Please note that you are accessing a beta version of this software. Access to this beta version is for purposes of testing and improvement of the software. Please input or adjust the data to continue.

Estimated bandwidth:
15 Mbps

Estimate required bandwidth for

Scope
Households Education and Science **Medicine** Business Industry Administrative Culture and Sport Transport

Object type
Hospital **Medical Center**

Number of users
1

Traffic profile
Quality level: High
Intensity level: Low
Users in developed countries with good broadband coverage and international communication channels, with low intensity of service usage

Services

Service	Transfer rate (bit-rate)	Delay	Intensity per user	Amount of session data per hour
Conversational voice	0.087 Mbit/s	150 ms	0.021 requests/hr	0.02 Mb
Video conference	4 Mbit/s	100 ms	0.021 requests/hr	188 Mb
Web browsing	1.5 Mbit/s	2000 ms	0.014 requests/hr	41.12 Mb
Transaction services	1.5 Mbit/s	2000 ms	0.045 requests/hr	28 Mb
Still image	1.5 Mbit/s	15000 ms	0.035 requests/hr	22 Mb
E-mail	4 Mbit/s	2000 ms	1.25 requests/hr	0.05 Mb
Specialized software	1.5 Mbit/s	50 ms	3.25 requests/hr	0.05 Mb
Data transfer/retrieval	1.5 Mbit/s	10000 ms	0.002 requests/hr	123.75 Mb
Command/control	1.5 Mbit/s	50 ms	0.004 requests/hr	28 Mb
Add custom service	0 Mbit/s	0 ms	0 requests/hr	0 Mb

Рисунок 4.21 – Сервісна платформа автоматизованого визначення необхідної пропускної здатності каналів з урахуванням специфіки конкретного об'єкта

4.4 Висновки до 4-го розділу

1. Проведена верифікація ефективності запропонованих моделей та методу багатоетапної оптимізації сервісних платформ для вирішення таких актуальних прикладних задач як оптимізація сервісної платформи надання відеосервісів та оптимізація сервісної платформи телемедицини, що підтверджує доцільність їх використання.
2. За допомогою моделюючого середовища Matlab змодельовано запропонований метод рішення та отримано результати рішення задач, які розглядались для верифікації. Результати моделювання підтверджують працездатність запропонованого методу.
3. Запропонований у роботі метод рішення дозволяє знаходити більш точне рішення у порівнянні з наявними методами. Більшість наявних методів нелінійної оптимізації знаходять лише локальний оптимум, який не є рішенням задачі, при цьому витрати часу на пошук рішення співвідносяться з витратами

часу на пошук рішення на базі запропонованого методу. Єдиний метод, який знайшов глобальний оптимум – це метод гілок та границь, але на пошук рішення він витрачає майже на 7% більше часу.

4. Результати експериментів підтверджують ефективність запропонованих моделей та методу багатоетапної оптимізації сервісних платформ, що в свою чергу дозволяє рекомендувати запропонований підхід до оптимізації сервісних платформ в інфокомунікаціях продовж їх життєвого циклу в умовах динамічних змін в оточуючому середовищі.

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 проєктування/реконфігурації/реконструкції СП в умовах їх функціонування в нестабільному середовищі, яке динамічно змінюється.

Основні результати роботи полягають у наступному:

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 сформувати 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 проєктування/реконфігурації/реконструкції сервісної платформи, що дозволяє знайти таке рішення задачі, при якому обрана цільова функція досягає свого екстремуму».

3. Запропоноване в роботі уточнення терміну «сервісна платформа» усуває заплутаність у наявній термінології в 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 у 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 змоделювати 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 нестаціонарності та динамічних змін зовнішнього середовища, в яке занурена сервісна платформа.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Згуровський М. Шлях до інформаційного суспільства—від Женеви до Тунісу //Дзеркало тижня. – 2005. – Т. 34. – №. 562. – С. 4-6.
2. Воробієнко П. П., Никитюк Л. А. Инфокоммуникации: термины и определения //Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – Т. 6. – №. 2 (54). – С. 4-6.
3. Кривуца В. Г. Основи інфокомунікацій: навч. посібник для загальноосвіт. навч. закладів/ Кривуца В. Г., Беркман Л. Н., Лапінський В. В.; за ред. В. Г. Кривуци.— К.:ДУІКТ, 2011.— 276 с.
4. Воробієнко П. П. Нікітюк Л. А. «Телекомунікаційні та інформаційні мережі» Підручник для навчальних закладів / П. П. Воробієнко, Л. А. Нікітюк, П. І. Резніченко. – К.:САММІТ-КНИГА – 2010. – 640 с.
5. Recommendation ITU–T Y.2001 (12/2004), General overview of NGN [Текст]. – 10 с.
6. Варакин Л. Е. Будущее поколение инфокоммуникационных сетей FGN XXI //Межд. конф. МАС-2004 «Инфокоммуникационные сети XXI века». [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://niits.ru/public/2004/2004-039.pdf>/(дата звернення: 12.05. 2015). – 2004.
7. Recommendation ITU–T Y.3001 (05/2011), Future networks: Objectives and design goals [Текст]. – 26 с.
8. Каток В. Новости с «кухни» МСЭ: сети будущего// Мережі& Бізнес. – 2011. –№3 (58). – С. 32-35
9. Кривуца В. Г. и др. Підходи до методів розрахунку параметрів систем управління мережами майбутнього-FGN / В.Г. Кривуца, Л.М. Беркман, О.С.Колобов, В.В.Олійник. // Зв'язок. – 2009 – № 3
10. Y. Li, A. H. Chan, and M. Ieee, “A Mechanism of Applying Human Intelligence to Future Generation Network.”
11. Голишко А. В. Перспективи та наслідки трансформації мереж в NGN //Вестник связи. – 2007. – №. 7. – С. 40-45.

12. Коновалов Г. В. Багатомірні мережі – майбутнє інфокомунікаційних мереж //Електросвязь. – 2008. – №. 4. – С. 28-34.

13. Cisco Visual Networking Index, “The Zettabyte Era: Trends and Analysis,” 2017; [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/vni-hyperconnectivity-wp.pdf>, accessed Mar. 2018

14. Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2011–2016 [Електронний ресурс]. Режим доступу:https://www.itu.int/dms_pub/itu-s/md/12/wtpf13ieg2/inf/S12-WTPF13IEG2-INF-0002!!PDF-E.pdf (дата звернення: 12.05. 2021).

15. Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2012–2017 [Електронний ресурс]. Режим доступу:http://www.davidellis.ca/wp-content/uploads/2012/08/cisco-vni_c11-481360.pdf (дата звернення: 12.05. 2021).

16. Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2015–2020 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.davidellis.ca/wp-content/uploads/2016/01/cisco-vni-june-2016-481360.pdf> (дата звернення: 15.05. 2021).

17. Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017–2022 White Paper [Електронний ресурс]. Режим доступу:<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.html> (дата звернення: 27.05. 2021).

18. IoT-analytics White paper: “IOT PLATFORMS The central backbone for the Internet of Things”, November 2015. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://iotanalytics.com/product/whitepaper-iot-basics-getting-started-with-the-internet-of-things/> (дата звернення: 07.07. 2021).

19. Нікітюк Л. А. «Послуги зв'язку нового покоління» / Л. А. Нікітюк, Р. Ю. Царьов // Зв'язок . – 2012 р. –№1. С. 23-28

20. Визначення сервісної платформи [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.amt-group.by/web/ru/service-platform-for-digital-television> (дата звернення: 10.08. 2018).

21. Визначення сервісної платформи [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.cpm.ru/index.php?page=dir-net-ims> (дата звернення: 10.08.2018).

22. Визначення сервісної платформи [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://inlinetelecom.ru/solutions/service-platforms/converged-services-platform/> (дата звернення: 12.08.2018).

23. Уваров Р. В. Телекоммуникационные сети и технологии. Ч 1: Телекоммуникационные и информационные сети / Р. В. Уваров, В.К. Складенко, С.И. Зуев, В.Г. Гуляев, А.П. Улеев, А.А. Гринь. –Харьков. –2006 г.

24. Н. Ковтун «Цифровая платформа» 18-19 сентября 2017, Региональный семинар МСЭ/ Узбекистан, Ташкент. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/CIS/Documents/Events/2017/09_Tashkent/Presentations/ITU%20Workshop%2019.09%20-%20Nikolay%20Kovtun%20presentation%203.pdf (дата звернення: 10.09.2018).

25. Визначення сервісної платформи [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://searchmicroservices.techtarget.com/definition/provisioning> (дата звернення: 15.09.2018).

26. МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ ГОСТ 34244- 2017 СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕДИЦИНСКИЕ Общие требования безопасности с учетом основных функциональных характеристик к стационарным телемедицинским консультативно-диагностическим центрам

27. Рекомендации по построению телемедицинских сетей на локальном (отдельные населённые пункты), региональном (районы, области) и национальном уровнях с учётом особенностей стран региона. МСЭ 2019 г. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/CIS/Documents/RI-WTDC17/ONAT_RI2_Recommendations_Rev2.pdf (дата звернення: 05.05.2020).

28. 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

29. Безрук В. М., Климаш М. Н. Многокритериальный выбор предпочтительных вариантов средств телекоммуникаций методом анализа иерархий. – 2015.

30. Максимюк Т. А., Брич М. В., Климаш М. М. Оптимізація параметрів гетерогенних мереж мобільного зв'язку на основі фрактальної геометричної моделі //Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2015. – №. 4. – С. 5-16.

31. Климаш М. М., Бугиль Б. А. Узагальнений метод оптимізації структур телекомунікаційної мережі за критерієм ефективності розподілу її ресурсів //Системи обробки інформації. – 2013. – №. 7. – С. 72-78.

32. Лемешко А.В. Динамическая модель структурно-функционального синтеза транспортной ТКС / А.В. Лемешко, В.Л. Стерин // Проблемы телекоммуникаций. – 2011. – № 3 (5). – С. 8-17.

33. Лемешко А. В. Усовершенствование потоковой модели быстрой перемаршрутизации с реализацией масштабируемых схем защиты элементов телекоммуникационной сети / А. В. Лемешко, А. С. Еременко, Н. Тарики // Радиотехника : Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. - 2016. - Вып. 187. - С. 14-24.

34. Лемешко А.В., Симоненко А.В. Математическая модель динамического управления канальными и буферными ресурсами на узлах телекоммуникационной сети. Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2009. Вып. 156. С. 36-41.

35. Лемешко А.В., Евсеева О.Ю., Копейка О.В., Беленков А.Г. Реструктуризация телекоммуникационной системы в условиях неопределенности ее стационарного состояния. Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2007. Вып. 148. С. 15-27.

36. Климаш М. М. Створення ефективних ІКТ-платформ електронного урядування інтерактивного типу: аналіз архітектури систем розповсюдження

контенту / М. М. Климаш, Ахмад Байдун Нажм, О. Л. Костів, І. В. Демидов, М. І. Бешлей // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. - 2019. - № 3. - С. 31-45.

37. Климаш М. М. Дослідження доступності у хмарних сервісних системах / М. М. Климаш, І. В. Демидов, Мехді Ель Хатрі Мохамед, Л. Дещинський Ю. // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Радіoeлектроніка та телекомунікації. - 2016. - № 849. - С. 218-228.

38. Minor M. Adaptive workflow management in the cloud-towards a novel platform as a service / M. Minor, R. Bergmann, S. Görg // Proceedings of the ICCBR. – 2011. - pp.131–138.

39. International standard ISO/IEC 9126-1:2001. Software engineering – Software product quality – Part 1: Quality model.

40. International standard ISO/IEC TR 9126-2:2003 Software engineering – Product quality – Part 2: External metrics.

41. International standard ISO/IEC TR 9126-3:2003 Software engineering – Product quality – Part 3: Internal metrics.

42. International standard ISO/IEC TR 9126-4:2004 Software engineering – Product quality – Part 4: Quality in use metrics.

43. Лисецький Ю. М. Інформаційні системи і технології в менеджменті: монографія / Лисецький Ю. М. – Київ: Логос, 2014. – 417 с.

44. Tsaryov R. Y Information systems in economic and business /R. Y. Tsaryov, K. S. Shulakova, K. D. Prikhodko. – Odessa: ONAT named after O. S. Popov, 2012. – 112 p.

45. Авраменко В.С., Авраменко А.С. Проектування інформаційних систем: навчальний посібник / В.С. Авраменко, А.С. Авраменко. – Черкаси: Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького, 2017. – 434 с

46. Richard W. Selby. Software Engineering: Barry W. Boehm's Lifetime Contributions to Software Development, Management, and Research. – John Wiley & Sons, –2007. – 834 p.

47. Лисецкий Ю. М. Модели сопровождения информационных систем предприятия по этапам жизненного цикла // Программные продукты и системы. – 2018. – Т. 31. – №. 3. – С. 455-460.
48. ISO/IEC 25010:2011. Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – System and software quality models
49. Отрох С. І. Архітектура мережі нового покоління NGN / С. І. Отрох, О. С. Єфремов // Вісник ДУІКТ. Спецвипуск. – 2007. – С. 65-71.
50. Структура та модель опису ІТ-архітектури Gartner [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.intuit.ru/studies/courses/995/152/lecture/4236?page=4>.
51. ДСТУ 3918-99 (ISO/IEC 12207:1995) Інформаційні технології. Процеси життєвого циклу програмного забезпечення. – К.: Держстандарт України, 2002. – 49 с.
52. Recommendation ITU–T Y.2060 (06/2012), Overview of the Internet of things [Текст]. – 22 с.
53. Tsaryov R. Y, Korovkina K. The generalised classification model of IoT-platforms / R. Y. Tsaryov, Korovkina K. V. // Збірник наукових праць ОНАЗ ім. О. С. Попова. – 2017. – №2. – с. 76-80
54. Tsaryov R. The method of selecting a hardware-software IoT-platform taking to account the factors of functionality and cost/ R. Tsaryov, L. Nikityuk // Збірник наукових праць ОНАЗ ім. О. С. Попова. – 2018. – №2.
55. 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.
56. Згуровский М. З. Системный анализ. Проблемы, методология, приложения / М. З. Згуровский, Н. Д. Панкратова. – К.: Наукова думка, 2005. – 743 с. (46)

57. Месарович, М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахара. - М. : Мир, 1973. - 344 с.
58. Месарович, М. Общая теория систем : математические основы / М. Месарович, И. Такахара. - М. : Мир, 1978. - 311 с.
59. Берталанфи, Л. фон. Общая теория систем : критический обзор / Л. фон Берталанфи // Исследования по общей теории систем. - М. : Прогресс, 1969. - С. 23-82.
60. Корилов А. М., Сафьянова Е. Н. Основы системного анализа и теории систем. – Томск : Изд-во Томского гос. ун-та, 1989 г.
61. Згуровский М. З. Системный анализ. Проблемы, методология, приложения / М. З. Згуровский, Н. Д. Панкратова. – К.: Наукова думка, 2005. – 743 с. (46)
62. Сегал В. В. Анализ и синтез сложных систем / Сегал В. В. – К.: ЦЭМИ «Тридента», 1994. – 157 с.
63. Урецкий Я. С, Валеев А. К, Царев Л С. «Сети связи с полным набором услуг на основе поликонцептуальной системной модели ее создания и использования»././ Труды «Международной конференции по телекоммуникациям», Санкт - Петербург, 2001 г" с. 20-24.
64. Урецкий Я.С, Валеев А. К, Царев Л.С. «Интеграция телекоммуникационных систем на основе обобщенного описания их взаимодействия»././ Труды «Международной конференции по телекоммуникациям», Санкт - Петербург, 2001 г., с. 24-28.
65. S. Saha Ray, Graph theory with algorithms and its applications. New Delhi: Springer, 2013.
66. R. Diestel, *Graph Theory*. New York: Springer, 2006.
67. G. Klir and D. Elias, *Architecture of Systems Problem Solving*. Boston, MA: Springer US, 2003.
68. B. Chernikov and S. Antonchikov “Adaptivny`e organizacionnye sistemy i ikh modelirovanie [Adaptive organizational systems and their Modeling].” *Fundamental`nye issledovaniya*. no9-1. pp. 243-252, 2017.

69. L. A. Nikitjuk and Y. O. Babich "Imitacionnoe modelirovanie predikativnogo monitoringa verojatnosti poteri ciklovoj sinhronizacii v konvergentnyh setjah [Simulation of predictive monitoring of frame alignment losses probability within convergent networks]." *Zbirnik naukovih prac' ONAZ im. O. S. Popova*. no.2, pp. 169-175, 2014.

70. Бабич Ю. О. Повышение функциональности мониторинга динамических характеристик информационно-коммуникационных сетей / Ю. О. Бабич, Л. А. Никитюк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 2015. - № 4(9). - С. 9-15

71. Tsarov, R., Tymchenko, I., Kumysh, V., Shulakova, K., & Vodnar, 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.

72. Капур В. А., Царёв Р. Ю., Тимченко И. О. Проблематика и особенности проектирования телемедицинских сетей // р. Беларусь. Научно-производственный журнал Веснік сувязі – №1 – 2021 р. с. 54-59

73. Грабовецький, Б. Є. Методи експертних оцінок: теорія, методологія, напрямки використання : монографія / Б. Є. Грабовецький. — Вінниця : ВНТУ, 2010. — 171 с.

74. Jeffrey D. Ullman Rajeev Motwani and John E. Hopcroft Introduction to Automata Theory, Languages, and Computation Pearson; 3rd edition (June 29, 2006)

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

76. Фельдман Л. П. Чисельні методи в інформатиці: навчальний посібник / Л. П. Фельдман. – К. : Видавнича група ВНУ, 2009. – 479 с.

77. Теслюк В.М., Загарюк Р.В. Методи багатокритеріальної оптимізації: Ч.1. Конспект лекцій –Львів: Видавництво Національного університету Львівська політехніка, 2012. – 64 с.

78. C. W. Ahn and R. S. Ramakrishna, "A genetic algorithm for shortest path routing problem and the sizing of populations," *Evolutionary Computation, IEEE Transactions on*, vol. 6, no. 6, pp. 566–579, 2002.
79. D. G"oz"upek and F. Alag"oz, "Genetic algorithm-based scheduling in cognitive radio networks under interference temperature constraints," *International Journal of Communication Systems*, vol. 24, no. 2, pp. 239–257, 2011.
80. H. T. Cheng and W. Zhuang, "Novel packet-level resource allocation with effective QoS provisioning for wireless mesh networks," *Wireless Communications, IEEE Transactions on*, vol. 8, no. 2, pp. 694–700, 2009.
81. A. Roy, N. Banerjee, and S. K. Das, "An efficient multi-objective qosrouting algorithm for wireless multicasting," in *Vehicular Technology Conference, 2002. VTC Spring 2002. IEEE 55th*, vol. 3, pp. 1160–1164, IEEE, 2002.
82. H. Jiang, X. Yang, K. Yin, S. Zhang, and J. A. Cristoforo, "Multi-path qos-aware web service composition using variable length chromosome genetic algorithm," *Information Technology Journal*, vol. 10, no. 1, pp. 113–119, 2011.
83. G. Canfora, M. Di Penta, R. Esposito, and M. L. Villani, "An approach for qos-aware service composition based on genetic algorithms," in *Proceedings of the 7th annual conference on Genetic and evolutionary computation*, pp. 1069–1075, ACM, 2005.
84. F. C. NK and S. D. K. Viswanatha, "Routing algorithm using mobile agents and genetic algorithm," *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, vol. 1, no. 3, 2009.
85. A. Roy and S. K. Das, "Qm2rp: a qos-based mobile multicast routing protocol using multi-objective genetic algorithm," *Wireless Networks*, vol. 10, no. 3, pp. 271–286, 2004.
86. C. Gao, M. Cai, and H. Chen, "Qos-aware service composition based on tree-coded genetic algorithm," in *Computer Software and Applications Conference, 2007. COMPSAC 2007. 31st Annual International*, vol. 1, pp. 361–367, IEEE, 2007.

87. D. Lin and F. Labeau, "Accelerated genetic algorithm for bandwidth allocation in view of emi for wireless healthcare," in *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2012 IEEE*, pp. 3312–3317, IEEE, 2012.
88. G. Kandavanam, D. Botvich, S. Balasubramaniam, and B. Jennings, "A hybrid genetic algorithm/variable neighborhood search approach to maximizing residual bandwidth of links for route planning," in *Artificial Evolution*, pp. 49–60, Springer, 2010.
89. D. Karabudak, C.-C. Hung, and B. Bing, "A call admission control scheme using genetic algorithms," in *Proceedings of the 2004 ACM symposium on Applied computing*, pp. 1151–1158, ACM, 2004.
90. S. Vedantham and S. S. Iyengar, "The bandwidth allocation problem in the atm network model is np-complete," *Information Processing Letters*, vol. 65, no. 4, pp. 179–182, 1998.
91. Ding S. et al. Multistage Cloud-Service Matching and Optimization Based on Hierarchical Decomposition of Design Tasks //Machines. – 2022. – T. 10. – №. 9. – C. 775.
92. H. Kobayashi, M. Munetomo, K. Akama, and Y. Sato, "Designing a distributed algorithm for bandwidth allocation with a genetic algorithm," *Systems and Computers in Japan*, vol. 35, no. 3, pp. 37–45, 2004.
93. T. A. Al-Qahtani, M. J. Abedin, and S. I. Ahson, "Dynamic routing in homogenous atm networks using genetic algorithms," in *Evolutionary Computation Proceedings, 1998. IEEE World Congress on Computational Intelligence., The 1998 IEEE International Conference on*, pp. 114–119, IEEE, 1998
94. I. E. Kassotakis, M. E. Markaki, and A. V. Vasilakos, "A hybrid genetic approach for channel reuse in multiple access telecommunication networks," *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, vol. 18, no. 2, pp. 234–243, 2000.
95. Q. Zhang, J. Wang, C. Jin, and Q. Zeng, "Localization algorithm for wireless sensor network based on genetic simulated annealing algorithm," in *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2008. WiCOM'08. 4th International Conference on*, pp. 1–5, IEEE, 2008.

96. S. Yun, J. Lee, W. Chung, and E. Kim, "Centroid localization method in wireless sensor networks using task fuzzy modeling," in International symposium on advanced intelligent systems, pp. 971–974, 2008.
97. J.-S. Kim, S. Park, P. Dowd, and N. Nasrabadi, "Channel assignment in cellular radio using genetic algorithms," *Wireless Personal Communications*, vol. 3, no. 3, pp. 273–286, 1996.
98. M. Mitchell, *An introduction to genetic algorithms*. MIT press, 1998.
99. J. Holland, "Genetic algorithms, computer programs that evolve in ways that even their creators do not fully understand," *Scientific American*, pp. 66–72, 1975.
100. M. Srinivas and L. M. Patnaik, "Genetic algorithms: A survey," *Computer*, vol. 27, no. 6, pp. 17–26, 1994.
101. K.-F. Man, K.-S. Tang, and S. Kwong, "Genetic algorithms: concepts and applications," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 43, no. 5, pp. 519–534, 1996.
102. Recommendation ITU-T Y.1910 (09/2008). IPTV functional architecture. [Текст]. – 102 с.
103. Recommendation ITU-T Y.1901 (01/2009). Requirements for the support of IPTV services. [Текст]. – 58 с.
104. Нікітюк Л. А. Модель вибору оптимального набору ресурсів для послуги IPTV / Л. А. Нікітюк, Р. Ю. Царьов // Збірник наукових праць ОНАЗ ім. О. С. Попова. – 2014. – №2. – С. 147-152.
105. Нікітюк Л. А. Алгоритм рішення задачі вибору оптимального набору ресурсів сервера послуги IPTV / Л. А. Нікітюк, Р. Ю. Царьов // Збірник наукових праць ОНАЗ ім. О. С. Попова. – 2015. – №2. – С. 36-43.
106. Нікітюк Л. А. Спосіб оптимізації сервісної платформи для послуг IPTV / Л. А. Нікітюк, Р. Ю. Царьов // Збірник наукових праць ОНАЗ ім. О. С. Попова. – 2016. – №1. – С. 116-121.

107. Recommendation ITU-T G.827 (09/2003). Availability performance parameters and objectives for end-to-end international constant bit-rate digital paths [Текст]. – 26 с.

108. Recommendation ITU-T Y.1540 (12/2019). IP Packet Transfer and Availability Performance Parameters [Текст]. – 102 с.

109. Recommendation ITU-T Y.1541 (12/2011). Network Performance Objectives for IP-Based Services [Текст]. – 66 с.

110. Recommendation ITU-T Y.1542 (06/2010). Framework for achieving end-to-end IP performance objectives. [Текст]. – 30 с.

111. Nikityuk L. A system of cognitive monitoring of the patient's condition in the telemedicine network / L. Nikityuk, R. Tsaryov, T. Chernyshova, A. Povitchan, A. Sapeha // Збірник наукових праць ОНАЗ ім. О. С. Попова. – 2019. – №2. С. 14-20

112. 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*

113. Tsarov, R., Nikityk, 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, ICAIIT 2024; Koethen; Germany; 2024 – pp. 19-24.*

114. Tsaryov Roman, Nikituk 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.

115. Царьов Р.Ю. " Деякі питання проектування телемедичних мереж" / Р. Ю. Царьов, І. К. Скропад // *Мат. ІХ міжнародної конференції «Економіка та управління в умовах побудови інформаційного суспільства»* ОНАЗ Одеса 2020

116. 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.

117. Tsaryov R.Yu., Tymchenko I.O., Kumysh V.Yu. BASIC CLASSIFICATION MODEL OF TELEMEDICINE STATION Інформаційно-комунікаційні технології та сталий розвиток // Колективна монографія за матеріалами XXI Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 14-16 листопада 2022 р.) / За заг. ред. С.О. Довгого. – К.: ТОВ «Видавництво «Юстон», 2022. – 242 с.

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

119. 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

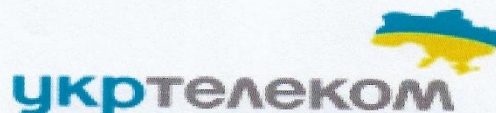
120. Kaptur V. A., Tsaryov R. Yr. Possible ways of determining the characteristics of network traffic for identification of required external connection line rate for a specific object Інформаційно-комунікаційні технології та сталий розвиток // Колективна монографія за матеріалами XXI Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 14-16 листопада 2022 р.) / За заг. ред. С.О. Довгого. – К.: ТОВ «Видавництво «Юстон», 2022. – 242 с.

121. Kaptur V., 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.

ДОДАТОК А

Акти впровадження результатів дисертаційної роботи

Акціонерне товариство «Укртелеком»
Одеська філія АТ "Укртелеком"
вул. Коблевська, 39, м. Одеса, 65023, Україна
Тел.: +38(048) 731-50-05



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор технічного департаменту
Одеської філії
АТ «Укртелеком»
В. О. Скуріхін

27 березня 2024 року

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи

Царьова Романа Юрійовича

на тему «Моделі та метод багатоетапної оптимізації сервісних платформ
в інфокомунікаційних мережах»

Даний акт складений проте, що у ОФ АТ «Укртелеком» використані результати дисертаційної роботи Царьова Р. Ю. «Моделі та метод багатоетапної оптимізації сервісних платформ в інфокомунікаційних мережах», представленої на здобуття ступеня кандидата технічних наук, сервісних платформ. Зокрема, під час проведення реконструкції/реконфігурації сервісних платформ інфокомунікаційних мереж ОФ АТ «Укртелеком» застосовано метод на базі модернізованого генетичного алгоритму, який на відміну від відомих методів, враховує адаптивність зовнішнього середовища, в якому функціонують сервісні платформи та надає можливість більш ефективно знаходити оптимальне рішення задач реконфігурації/реконструкції. Використання запропонованого методу дозволило на 10% скоротити час рішення задач реконфігурації/реконструкції сервісних платформ інфокомунікаційних мереж підприємства.

Акт складений для пред'явлення до спеціалізованої вченої ради із захисту дисертацій і не є підставою для фінансових розрахунків.

Начальник служби планування мережі

В.В. Кищенко

Акціонерне товариство
«Укртелеком»
Одеська філія
АТ "Укртелеком"

вул. Коблевська, 39, м. Одеса, 65023, Україна. IBAN: UA45300346000026009012256401 в АТ
«СЕНС-БАНК», м. Києва, МФО 300346, код ЄДРПОУ 01186691, індивідуальний податковий
№215607626656, числовий номер -510

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор Державного підприємства
«Одеський науково-дослідний
інститут зв'язку» (ДП «ОНДІЗ»)

Михайло Мишин
13.07.05.2017 року



**Акт
впровадження результатів дисертаційної роботи
Царьова Романа Юрійовича**

**на тему «Моделі та метод багатоетапної оптимізації сервісних платформ в
інфокомунікаційних мережах»**

Комісія в складі:

- голова – секретар НТР ДП «ОНДІЗ», керівник групи випробувального центру, к.т.н., Яневич О.К.;
- начальник випробувального центру ДП «ОНДІЗ» Іщенко Д.А.
- начальник лабораторії мереж електровз'язку та систем комутації ДП «ОНДІЗ» Матковський О.П.;

склала цей акт про те, що результати кандидатської дисертації здобувача Царьова Р. Ю. на тему «Моделі та метод багатоетапної оптимізації сервісних платформ в інфокомунікаційних мережах» використовуються в робочому процесі та з метою підвищення кваліфікації співробітників випробувального центру та лабораторій ДП «ОНДІЗ».

А саме результати, висновки та пропозиції дисертації використовуються при:

- розробці методів випробувань апаратури зв'язку;
- розробці матеріалів, направлених на підвищення кваліфікації співробітників випробувального центру та лабораторій ДП «ОНДІЗ».

Використання результатів дисертаційної роботи здобувача Царьова Р. Ю. дозволяє покращити кваліфікаційний рівень співробітників шляхом освоєння сучасних підходів до оптимізації сервісних платформ в інформаційних мережах.

Голова комісії

 О.К. Яневич

Члени комісії

 Д.А. Іщенко

 О.П. Матковський



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

вул. Кузнечна, 1, м. Одеса, 65023, тел. (048) 705-03-33, факс (048) 705-04-31
<http://www.suitt.edu.ua>, e-mail: suitt@suitt.edu.ua, код ЄДРПОУ 43997335

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з навчальної роботи ДУІТЗ
проф. Світлана ХАДЖИРАДЄВА
«07» березня 2024 року

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи
Царьова Романа Юрійовича
на тему «Моделі та метод багатоетапної оптимізації сервісних платформ в
інфокомунікаційних мережах»
в навчальний процес кафедри КПС Державного університету інтелектуальних
технологій і зв'язку

Комісія в складі:

- голова – завідувач кафедри КПС, к.т.н., доц. Нікітюк Л. А;
- члени комісії – к.т.н., доц. Шерепа І. В., секретар каф. КПС, ст. викладач Яворська О. М.

склала цей акт про те, що результати кандидатської дисертації здобувача Р. Ю. Царьова на тему «Моделі та метод багатоетапної оптимізації сервісних платформ в інфокомунікаційних мережах» використовуються у навчальному процесі на кафедрі «Комп'ютерна інженерія та інформаційні системи» в Державного університету інтелектуальних технологій і зв'язку. А саме результати дисертаційної роботи використовуються при:

- 1) викладанні викладачами кафедри дисциплін «Мережеві сервіси та сервісні платформи», «Інформаційно комунікаційні технології», «Інформаційні системи телемедицини»;
- 2) виконанні випускних кваліфікаційних робіт бакалаврів та магістрів магістерських робіт, дипломних проєктів та випускних робіт бакалаврів.

Голова комісії

зав. каф. КПС к.т.н., доц.

Леся НІКІТЮК

Члени комісії:

к.т.н., доц.

Ігор ШЕРЕПА

ст. викл.

Ольга ЯВОРСЬКА

ДОДАТОК Б

Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів 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. Kaptur V., 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, ICAIIT 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., Nikityk, 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, ICAIIT 2024*; Koethen; Germany; 2024 – pp. 19-24.

Публікації у матеріалах міжнародних та всеукраїнських конференцій:

17. Tsaryov Roman, Nikituk 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 проектування телемедичних мереж". *Мат. ІХ 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". *Мат. Х 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.

ДОДАТОК В

Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір

УКРАЇНА



СВІДОЦТВО
про реєстрацію авторського права на твір

№ 84133

Комп'ютерна програма "Система автоматизованого формування та розповсюдження чорних та білих списків ресурсів мережі Інтернет" ("Bwld.online")

(вид, назва службового твору)

Автор(и) Каптур Вадим Анатолійович, Поднебесний Ігор Андрійович, Степаненко Олександр Володимирович, Царьов Роман Юрійович

(повне ім'я, псевдонім (за наявності))

Авторські майнові права належать Каптур Вадим Анатолійович, вул. Спиридонівська, 18/24, кв. 88, м. Одеса, 65029; Поднебесний Ігор Андрійович, вул. Дніпропетровська дорога, 74/1, кв. 49, м. Одеса, 65069; Степаненко Олександр Володимирович, вул. Молодіжна, 101, с. Великий Дальник, Одеська обл., 67668; Царьов Роман Юрійович, вул. Градоначальницька, 14, кв. 3, м. Одеса, 65029; Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова, вул. Кузнечна, 1, м. Одеса, 65029

(повне ім'я фізичної та/або повне офіційне найменування юридичної особи, адреса)

Дата реєстрації 04.01.2019



Державний секретар Міністерства економічного розвитку і торгівлі України О. Ю. Перевезенцев