МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО - КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кваліфікаційна наукова праця
На правах рукопису

КІТУРА ОЛЕГ ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 621.396.2

ДИСЕРТАЦІЯ

МЕТОДИКА ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНОЮ МЕРЕЖЕЮ ЗВ'ЯЗКУ

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
Галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»
Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

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

_____О.В. Кітура
(підпис)

Науковий керівник: ЗАЇКА Віктор Федорович, доктор технічних наук, професор.

Київ – 2023

АНОТАЦІЯ

Кітура О.В. Методика формування системи управління транспортною мережею зв'язку – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 – «Телекомунікації та радіотехніка». – Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій Міністерства освіти і науки України, Київ, 2023.

У дисертаційній роботі вирішується актуальне науково-технічне завдання щодо розробки методика формування системи управління транспортною мережею зв'язку.

Розвиток та зміна мережевих технологій, що становлять основу побудови транспортної мережі зв’язку, зміна процесів функціонування та взаємодії мережевих елементів ТМЗ, зміна механізмів контролю функціонування ТМЗ, вимагає проведення досліджень щодо розробки нової архітектури СУ ТМЗ та, на її основі, створення відповідної методики формування перспективні системи управління типовою ТМЗ.

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності функціонування системи управління транспортною мережею зв'язку на технологічному та оперативно-технічному рівнях керування.

Для досягнення поставленої мети і вирішення зазначеної проблеми в роботі вирішені наступні наукові задачі:

– проведено аналіз архітектури побудови та механізмів функціонування системи управління типовою транспортною мережею зв’язку на технологічному та оперативно-технічному рівнях управління;

– визначено та досліджено основні складові механізми моделі управління транспортною мережею зв’язку, що впливають на якість її функціонування;

– розроблено часткові концептуальні складові моделі системи управління транспортною мережею зв’язку;

– розроблено цілісну методику формування системи управління транспортною мережею зв’язку;

– оцінено ефективність функціонування розробленої методики формування системи управління транспортною мережею зв’язку.

Об'єктом дослідження є система управління транспортною мережею зв'язку.

Предметом дослідження є моделі та методики формування системи управління транспортною мережею зв'язку.

У дисертаційній роботі нові наукові результати й висновки отримані на єдиній методологічній основі математичного аналізу й синтезу складних технічних систем. Використовувалися сучасні і класичні методи теорії сигналів і систем, методи спектральної теорії, методи теорії інваріантності, методи математичного й системного аналізу, методи теорії зв’язку, теорії ймовірності і математичної статистики.

Вірогідність наукових результатів, висновків та рекомендацій, викладених у дисертаційній роботі, обґрунтовано коректним використанням математичного апарату та моделюванням на ЕОМ.

У процесі теоретичних досліджень і моделювання у дисертаційній роботі одержані наступні нові наукові результати, а саме:

1. Набула подальшого розвитку модель процесу взаємодії елемента транспортної мережі зв’язку і вузла мультиагентної системи управління;

2. Удосконалено модель процесів контролю і управління елементом транспортної мережі зв'язку на основі підсистеми мультиагентної системи управління;

3. Удосконалено моделі функціонування та управління транспортної мережі зв’язку як складових мультиагентної системи управління.

4. Вперше розроблено методику формування системи управління транспортною мережею зв’язку.

Практичне значення одержаних результатів у галузі розробки та створення систем управління транспортних мереж зв’язку полягає у тому, що

запропонована в дисертаційній роботі моделі та створена на її основі методика може стати основою для формування та створення практично реалізованих схем систем управління транспортною мережею зв’язку. Застосування яких може підвищити ефективності функціонування системи управління транспортною мережею зв'язку на технологічному та оперативно-технічному рівнях керування.

Удосконалено модель процесів взаємодії фрагмента транспортної мережі зв’язку і вузла мультиагентної системи управління, яка, на відміну від існуючих, дозволяє оцінити час, що витрачається на обробку повідомлень у МАСУ, залежно від різних характеристик технічної підсистеми.

Удосконалено модель процесів контролю і управління фрагментом транспортної мережі зв'язку на основі застосування підсистеми мультиагентної системи управління, яка, на відміну від існуючих дозволяє провести оцінку тимчасових характеристик (ТХ) процесів функціонування ТМЗ залежно від ТХ окремих підпроцесів управління ТМЗ та оцінку динаміки зміни стану фрагмента ТМЗ.

Розроблено модель функціонування та управління транспортної мережі зв’язку як складова мультиагентної системи управління, яка вперше дозволяє враховувати два стани всіх агентів: справне та несправне з урахуванням надійності та готовності до функціонування кожного агента.

Розроблено методику формування системи управління транспортною мережею зв’язку дозволяє підвищити якість функціонування системи управління транспортною мережею зв’язку та, при впроваджені запропонованої моделі МАСУ дозволяє з ймовірністю 0.7 до 7 і більше разів зменшити тривалість циклу управління.

Дисертаційна робота складається з вступу чотирьох розділів в яких логічно, на високому науково-технічному рівні викладено рішення поставленої задачі дослідження.

В першому розділі проведено аналіз підходів до побудови систем управління транспортними мережами зв'язку. Обґрунтовано вибір технології

Carrier Ethernet (CE) для побудови перспективної системи управління транспортною мережею зв’язку та сформовано наукове завдання та мета роботи. У прикінцевій частині першого розділу, враховуючи проведений аналіз та виявлені проблеми, сформовано цілі та завдання дослідження.

В другому розділі розроблено модель процесу взаємодії фрагмента транспортної мережі зв’язку і вузла мультиагентної системи управління (МАСУ), яка, на відміну від існуючих, дозволяє оцінити час, що витрачається на обробку повідомлень у МАСУ, залежно від різних характеристик технічної підсистеми. В якості цілі функціонування СУ ТМЗ визначено оперативність функціонування ТМЗ в умовах високої динаміки зміни станів з врахуванням особливостей СЕ. Визначені особливості СУ ТМЗ та її можливості щодо функціонування за призначенням. Подано трирівневу концептуальну модель системи управління ТМЗ з вказівкою ролі та місця МАСУ. Вказана модель визначає: рівень операційного управління; рівень оперативно-технічного управління; технологічний рівень управління. Розроблено модель процесу взаємодії фрагмента транспортної мережі зв’язку і вузла мультиагентної системи управління. Вказана модель дозволяє провести моделювання процесів управління між фрагментами ТМЗ та вузлом МАСУ. Отримані результати моделювання дозволяють укрупнено оцінити час, що витрачається на обробку повідомлень у МАСУ, залежно від різних характеристик технічної підсистеми.

В третьому розділі подано моделі процесів управління транспортною мережею зв'язку на основі технології CARRIER ETHERNET. На основі розробленої в розділі 2 концептуальної моделі системи управління транспортною мережею зв’язку виділено підмножину незалежних підпроцесів, на основі яких сформовано три ключові процеси управління, що протікають в МАСУ для досягнення різних цілей та завдань управління. Для виділених процесів управління ТМЗ розроблені алгоритми: процесу контролю фрагмента ТМЗ та управління за результатами пошуку відхилень; процесу контролю фрагмента ТМЗ та управління за результатами

інформування МАСУ; узагальнений процес контролю та управління станом фрагмента ТМЗ. Подані в розділі алгоритми процесів контролю та управління станом ТМЗ на основі технології СЕ дозволяють вирішувати такі завдання: функціонування СУ ТМЗ при періодичних запитах від МАСУ на виконання оцінки технічного стану елементів ТМЗ, які вирішуються на рівні керування елементами мережі (EMS); функціонування СУ ТМЗ при періодичних запитах від МАСУ на виконання оцінки технічного стану ТМЗ, які вирішуються на рівні управління мережею (NMS); функціонування СУ ТМЗ при надходженні до МАСУ повідомлень про зміну стану одного або кількох елементів ТМЗ. Розроблено модель процесів контролю і управління фрагментом транспортної мережі зв'язку на основі підсистеми мультиагентної системи управління. Запропонована модель дозволили отримати оцінку тимчасових характеристик процесів функціонування ТМЗ залежно від тимчасових характеристик окремих підпроцесів управління ТМЗ, оцінку динаміки зміни стану фрагмента ТМЗ. Це, у свою чергу, дозволяє формувати оцінки мережевої надійності та відмовостійкості, а також на етапах планування та проектування оцінювати відповідність перспективної МАСУ вимогам щодо оперативності виконання циклу управління, а у разі невідповідності цим вимогам формувати обґрунтовані рекомендації щодо зміни тимчасових характеристик окремих підпроцесів.

Четвертий розділ присвячено розробці концептуальної моделі СУ ТМЗ та створенню на її основі методики формування СУ ТМЗ, яка забезпечує підвищення оперативності управління ТМЗ на основі технології СЕ. Методика містить три взаємопов'язані укрупнені блоки, де формуються алгоритмічна структура процесу функціонування МАСУ ТМЗ, структура імітаційних моделей процесів контролю та управління станом ТМЗ, структура процесу вироблення рішень щодо зміни конфігурації ТМЗ. Методика призначена для формування МАСУ ТМЗ при проектуванні та розроблення СУ ТМЗ. Мета розробки методики полягає у забезпеченні оперативності управління ТМЗ для забезпечення стійкого її функціонування.

Для оцінки ефективності отриманих у роботі рішень щодо формуванню СУ ТМЗ запропоновано використовувати показник оперативності управління – здатність СУ ТМЗ виконувати процеси контролю та управління станами ТМЗ в встановлені терміни. Для розрахунку використовувалися дані дискретно-подійної моделі управління ТМЗ. Розрахована ймовірність того, що час керування не перевищить допустимого значення (прийнятого за 20 хв), проводилася за законом нормального розподілу. Отримана ймовірність склала 0.7, що говорить про досягненні поставленої мети дисертації. Розроблено науково-технічні пропозиції щодо формування системи управління ТМЗ, які включають аналіз та обґрунтування можливості застосування програмованого протоколу віддаленої мережі елементів ТМЗ і формування бази даних елементів ТМЗ на основі стандартних наборів контрольованих об'єктів, а також формування структури процесу вироблення варіантів рішень щодо реконфігурації фрагмента ТМЗ.

Дисертація виконувалась в Державному університеті інформаційно-комунікаційних технологій. Обраний напрям досліджень відповідає тематиці науково-дослідних робіт Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій.

Ключові слова: система управління, транспортна мережа зв’язку, мультиагентна система управління.

ANNOTATION

Kitura O.V. Methods of forming a transport network management system - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 172 - “Telecommunications and Radio Engineering”. – State University of Information and Communication Technologies of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2023.

In the dissertation work the actual scientific and technical task concerning development of a technique of formation of a control system of a transport network of communication is solved.

The development and change of network technologies that form the basis of the transport network, change the processes of functioning and interaction of network elements TCN, change mechanisms to control the functioning of TCN, requires research to develop a new architecture MS TCN and, based on it, create appropriate methods advanced control systems for typical TCN.

The purpose of the dissertation is to increase the efficiency of the transport communication network management system at the technological and operational-technical levels of management.

To achieve this goal and solve this problem in the work solved the following scientific problems:

- the analysis of architecture of construction and mechanisms of functioning of system of management of a typical transport network of communication at technological and operational and technical levels of management is carried out;
- the main components of the mechanism of the transport network management model that affect the quality of its operation are identified and studied;
- partial conceptual components of the model of the transport network management system have been developed;
- a holistic method of forming a transport network management system has been developed;
- the efficiency of functioning of the developed technique of formation of the control system of the transport communication network is estimated.

The object of study is the control system of the transport network.

The subject of research is the model and methods of formation of the transport communication network management system.

In the dissertation new scientific results and conclusions are received on a uniform methodological basis of the mathematical analysis and synthesis of difficult technical systems. Modern and classical methods of signal and systems

theory, methods of spectral theory, methods of invariance theory, methods of mathematical and systems analysis, methods of communication theory, probability theory and mathematical statistics were used.

The probability of scientific results, conclusions and recommendations set out in the dissertation is justified by the correct use of mathematical apparatus and computer simulation.

In the process of theoretical research and modeling in the dissertation the following new scientific results were obtained, namely:

1. The model of the process of interaction between the element of the transport network and the node of the multi-agent control system has been further developed;

2. The model of processes of control and management of an element of a transport network of communication on the basis of a subsystem of multiagent control system is improved;

3. For the first time a model of functioning and management of the transport network as a component of a multi-agent management system was developed.

4. For the first time a method of forming a transport network management system was developed.

The model of interaction processes of the transport network fragment and the multi-agent control system node has been improved.

The model of processes of control and management of a fragment of a transport network of communication on the basis of application of a subsystem of multiagent control system is improved.

Developed a model of operation and management of the transport network as part of a multi-agent management system.

The developed technique of formation of the control system of the transport communication network allows to improve the quality of functioning of the control system of the transport communication network.

The dissertation work consists of four sections in which logically, at a high scientific and technical level, the solution of the research problem is set out.

In the first section, an analysis of approaches to the construction of management systems for transport communication networks is carried out. The choice of Carrier Ethernet (CE) technology for the construction of a promising system for managing the transport communication network is substantiated, and the scientific task and purpose of the work are formed. In the final part of the first chapter, taking into account the conducted analysis and identified problems, the goals and tasks of the research are formed.

In the second section, a model of the process of interaction between a fragment of a communication transport network and a node of a multi-agent control system (MACS) is developed, which, unlike the existing ones, allows to estimate the time spent on processing messages in the MACS, depending on various characteristics of the technical subsystem. As the goal of the operation of the TCN control system, the operational efficiency of the TCN operation in conditions of high dynamics of state changes, taking into account the features of the SE, is defined. The specific features of the TCN system and its possibilities for functioning as intended have been determined. A three-level conceptual model of the TCN management system with an indication of the role and place of the MACS is presented. The specified model defines: the level of operational management; level of operational and technical management; technological level of management. A model of the process of interaction between a fragment of the communication transport network and a node of the multi-agent control system has been developed. The specified model allows simulation of control processes between TCN fragments and the MACS node. The simulation results obtained allow for a consolidated assessment of the time spent on processing messages in the MASU, depending on various characteristics of the technical subsystem.In the third section, models of transport network management processes based on CARRIER ETHERNET technology are developed.

The third section presents models of transport communication network management processes based on CARRIER ETHERNET technology. On the basis of the conceptual model of the communication transport network management system developed in Chapter 2, a subset of independent sub-processes was

selected, on the basis of which three key management processes were formed, which flow in the MACS to achieve various management goals and objectives. Algorithms have been developed for selected TCN management processes: TCN fragment control process and management based on the results of the search for deviations; the process of control of the TCN fragment and management based on the results of informing the MACS; a generalized process of control and management of the state of the TCN fragment. Algorithms of the control and management processes of the TCN state based on SE technology, presented in the section, allow solving the following tasks: the operation of the TCN control system at periodic requests from the MACS to perform an assessment of the technical condition of the TCN elements, which are solved at the level of network element management (EMS); the functioning of the TCN control system in case of periodic requests from the MACS to carry out an assessment of the technical condition of the TCN, which are decided at the level of network management (NMS); functioning of the TMZ system upon receipt of messages about a change in the state of one or more elements of the TCN. A model of the control and management processes of a fragment of the communication transport network based on the subsystem of the multi-agent control system has been developed. The proposed model made it possible to obtain an estimate of the temporal characteristics of the TCN functioning processes depending on the temporal characteristics of individual TCN management subprocesses, an assessment of the dynamics of changes in the state of the TCN fragment. This, in turn, makes it possible to form assessments of network reliability and fault tolerance, as well as at the planning and design stages to assess the compliance of the prospective IAS with the requirements for the efficiency of the management cycle, and in case of non-compliance with these requirements, to form reasonable recommendations for changing the temporary characteristics of individual sub-processes.

The fourth section is devoted to the development of a conceptual model of the TCN control system and the creation of a methodology for the formation of the TCN control system based on it, which ensures an increase in the efficiency of the TCN management based on SE technology. The methodology contains three

interrelated aggregated blocks, which form the algorithmic structure of the process of functioning of the MACS TCN, the structure of simulation models of the processes of control and management of the state of TCN, the structure of the process of making decisions about changing the configuration of TCN. The methodology is intended for the formation of the TCN MACS during the design and development of the TCN SU. The purpose of developing the methodology is to ensure the efficiency of TCN management to ensure its sustainable functioning. To evaluate the effectiveness of the decisions obtained in the work regarding the formation of the TCN control system, it is proposed to use the management efficiency indicator - the ability of the TCN control system to perform the control and management processes of the TCN conditions within the set time. The data of the discrete-event TCN management model were used for the calculation. The calculated probability that the control time will not exceed the permissible value (accepted for 20 min) was carried out according to the law of normal distribution. The obtained probability was 0.7, which indicates the achievement of the goal of the dissertation. Scientific and technical proposals for the formation of a TCN management system have been developed, which include the analysis and justification of the possibility of using a programmable protocol of a remote network of TCN elements and the formation of a database of TCN elements based on standard sets of controlled objects, as well as the formation of the structure of the process of developing options for fragment reconfiguration TCN. The dissertation was performed at the State University of Telecommunications. The chosen field of research corresponds to the research topics State University of Information and Communication Technologies.

Keywords: control system, transport communication network, multi-agent control system.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у періодичних наукових виданнях інших держав, які входять до наукометричної бази Scopus

1. Turovsky Oleksandr, Vadym Vlasenko, Nataliia Rudenko, Oleksandr Golubenko Oleh Kitura, Oleksandr Drobyk. Two-Time Procedure for Calculation of Carrier Frequency of Phasomodulated in Communication System, I*nternational Journal of Communication Networks and Information Security (IJCNIS)*,2021, Vol. 13, No. 3, pp. 382-387. https://doi.org/10.17762/ijcnis.v13i3.5165.

Статті у фахових виданнях, що входять до переліку, затвердженого МОН України

2. Кітура О. В., Колодяженський Б. М., Тушич А. М., Захаржевський А.Г. Інтеграція IoT у сферу логістики. ***Звя'зок.*** **№2(150), С. 28-29, 2021.** https://doi.org/10.31673/2412-9070.2021.022829;

3. Кітура О. В., Яковенко Н. Д., Сторчак К. П., Звенігородський О. С., Бєлкін Ю. О., Математичне моделювання динамічних зв’язаних процесів на основі скінченно-елементної методики. Звя'зок. №3(151), С. 35-38, 2021. https://doi.org/10.31673/2412-9070.2021.033538;

4. Кітура О. В., Беркман Л. Н., Дакова Л. В., Даков С. Ю., Блаженний Н. В., Полонський К. В. Дослідження когнітивних методів керування інфокомунікаціями в умовах невизначеності. Звя'зок. №4(152), С. 7-13, 2021. https://doi.org/10.31673/2412-9070.2021.040713.

5. Туровський О, Кітура О., Міщенко А., Клобуков В., Полонський К. Перспективна структура мультиагентної системи управління транспортною мережею зв'язку на основі технології CARRIER ETHERNET. Наукоємні технології. №1 (54), С. 112-117, 2022. https://doi.org/10.18372/2310-5461.54.16748

6. Кітура О. В., Жукова О.Р., Захаржевський А.Г., Завацький В.О. Системи передавання інформації на базі багатовимірних сигналів. Звя'зок. №5(159), С. 17-23, 2022. https://doi.org/10.31673/2412-9070.2022.050310.

Матеріали й тези доповідей на конференціях

7. Oleh Kitura, Konstiantyn Polonskyi «Analysis of the main properties of transport network management systems*», ICT infrastructure as a basis forndigital economy:*ITU *Workshop for Europe and CIS Region*, Ukraine, Kyiv, 15 December 2021. P. 61-62;

8. Кітура О., Полонський К., «Модель процесів контролю і управління фрагментом транспортної мережі зв'язку на основі підсистеми мультиагентної системи управління», *Світ інформації та телекомунікації: XIII Наукова конференція студентства та молоді,* Київ, 21 жовтня 2021 р., С. 115-116.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ 17

ВСТУП 18

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ПОБУДОВИ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ МЕРЕЖАМИ ЗВ'ЯЗКУ 24

1.1 Аналіз та класифікація основних видів систем управління типовими транспортними мережами зв'язку 24

1.2 Аналіз основних властивостей систем управління транспортною мережею зв’язку 32

1.3 Аналіз архітектури системи управління типовою транспортною мережею зв’язку 35

1.4 Обґрунтування вибору технології Carrier Ethernet для побудови перспективної системи управління транспортною мережею зв’язку 38

1.5 Постановка завдання на наукове дослідження 41

1.6 Висновки по розділу 48

РОЗДІЛ 2. МОДЕЛЬ ПРОЦЕСІВ ВЗАЄМОДІЇ ФРАГМЕНТІВ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ ЗВ’ЯЗКУ ТА МУЛЬТИАГЕНТНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНОЮ МЕРЕЖЕЮ ЗВ’ЯЗКУ 49

2.1 Мультиагентна модель системи управління транспортною мережею зв’язку 49

2.2. Розробка моделі процесу взаємодії фрагмента транспортної мережі зв’язку і вузла мультиагентної системи управління 56

2.3. Висновки по розділу 70

РОЗДІЛ 3. МОДЕЛІ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНОЮ МЕРЕЖЕЮ ЗВ'ЯЗКУ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ CARRIER ETHERNET 72

3.1. Модель процесів контролю і управління фрагментом

транспортної мережі зв'язку на основі підсистеми мультиагентної системи управління 72

3.1.1. Опис модельованих процесів контролю і управління елементами ТМЗ 72

3.1.2. Алгоритми на основі процесів контролю та управління елементами ТМЗ 74

3.1.3. Модель процесів контролю та управління елементами ТМЗ 76

3.1.4. Опис моделювання процесів контролю та управління елементами ТМЗ 80

3.2. Модель функціонування та управління транспортної мережі зв’язку як складова мультиагентної системи управління 85

3.3 Висновки по розділу 101

РОЗДІЛ 4. МЕТОДИКА ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТАНСПОРТНОЮ МЕРЕЖЕЮ ЗВЯЗКУ 104

4.1. Розробка методики формування системи керування транспортною мережею зв'язку 104

4.2. Оцінка якості функціонування системи управління транспортною мережею зв'язку 112

4.3. Науково-технічні пропозиції щодо формування системи управління транспортною мережею зв'язку 116

4.3.1. Формування бази даних системи керування транспортною мережею зв'язку на основі стандартних наборів контрольованих об'єктів. 116

4.3.2. Пропозиції щодо формування структури процесу вироблення варіантів реконфігурації фрагмента ТМЗ 116

4.4 Висновки по розділу 121

ВИСНОВКИ 122

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 125

ДОДАТКИ 132

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

Транспортна мережа зв’язку	ТМЗ
Система управління	СУ
Система технічної експлуатації	СТЕ
Технології Carrier Ethernet	CE
Єдина система моніторингу та адміністрування	ЄСМА
Мультиагентна система управління	МАСУ
Operation, Administration, Maintenance	OAM

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Для забезпечення соборності, незалежності і державного суверенітету, Україна повинна підвищувати рівень економічного і промислового потенціалу держави та покращувати рівень народного добробуту. Одним із напрямків такої діяльності є забезпечення інфраструктури України системами та мережами сучасного швидкісного зв’язку. Що вимагає розвитку та удосконалення одного з основних ключових елементів інфраструктури а саме транспортної мережі зв’язку (ТМЗ).

Формування передових підходів до побудови та функціонування такої мережі, та розвиток на їх основі сучасних технологій зв’язку дозволили створити достатньо розгалужену структуру складових елементів такої мережі. При цьому, з’являються мережі, окремі елементи яких можуть бути побудовані на базі передових технологій, як то Carrier Ethernet.

Зростаюче різноманіття типів ТМЗ, збільшення різнорідності їх складових елементів та кількості параметрів, що характеризують стан цих елементів викликає розширення спектру підходів до управління ТМЗ. Особливо це важливо при вирішенні завдань експлуатації та оперативно-технічного управління транспортною мережею зв’язку.

При цьому управління мережами зв'язку, що працюють на базі нових технологій, неможливе без модернізації існуючої системи керування (СУ) шляхом розробки модулів мережевого керування, які дозволять реалізувати всі можливості транспортної мережі зв’язку на базі пакетних технологій. Таким чином, у зв'язку із суттєвою зміною мережевих технологій, що становлять основу мережі транспортного рівня, зміною процесів функціонування мережевих елементів та їх взаємодії, зміною механізмів контролю функціонування ТМЗ, потрібна розробка нової архітектури СУ ТМЗ та, на її основі, створення відповідної методики щодо формування перспективні системи управління типовою ТМЗ.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційне дослідження відповідає вимогам статті 5 Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» від 11 липня 2001 рок № 2623-III (зі змінами та доповненнями від 29.01.2021 р.), пункту першого розділу другого «Переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2021 року», затвердженого Постановою КМУ від 7 вересня 2011 р. № 942.

Результати наукових досліджень були використані на кафедрі Телекомунікаційних систем та мереж Навчально-наукового інституту телекомунікацій під час виконання науково-дослідної роботи на тему «Дослідження надійності телекомунікаційних мереж» (РК № 0114U000404, ДУТ, м. Київ) та в навчальному процесі Державного університету телекомунікацій при викладання навчальних дисциплін «Телекомунікаційні системи передачі даних», «Проектування телекомунікаційних систем та мереж».

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності функціонування системи управління транспортною мережею зв'язку на технологічному та оперативно-технічному рівнях керування.

Для досягнення поставленої мети і вирішення зазначеної проблеми необхідно вирішити наступні наукові задачі:

– провести аналіз архітектури побудови та механізмів функціонування системи управління типовою транспортною мережею зв’язку на технологічному та оперативно-технічному рівнях керування;

– визначити та дослідити основні складові механізми моделі управління транспортною мережею зв’язку, що впливають на якість її функціонування;

– розробити часткові концептуальні складові моделі системи управління транспортною мережею зв’язку;

– розробити цілісну методику формування системи управління транспортною мережею зв’язку;

– оцінити ефективність функціонування розробленої методики формування системи управління транспортною мережею зв’язку.

Об'єктом дослідження є система управління транспортною мережею зв'язку.

Предметом дослідження моделі та методики формування системи управління транспортною мережею зв'язку.

Методи досліджень. У дисертаційній роботі нові наукові результати й висновки отримані на єдиній методологічній основі математичного аналізу й синтезу складних технічних систем. Використовувалися сучасні і класичні методи теорії систем, теорії управління, теорії ймовірностей, теорії побудови мультиагентних систем, теорії надійності. Експериментальні методи дослідження включають методи математичної статистики, метод імітаційного моделювання.

Вірогідність наукових результатів, висновків та рекомендацій, викладених у дисертаційній роботі, обґрунтовано коректним використанням математичного апарату та моделюванням на ЕОМ.

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

1. Набула подальшого розвитку модель процесу взаємодії елемента транспортної мережі зв’язку і вузла мультиагентної системи управління;

2. Удосконалено модель процесів контролю і управління елементом транспортної мережі зв'язку на основі підсистеми мультиагентної системи управління;

3. Вперше розроблено модель функціонування та управління транспортної мережі зв’язку як складової мультиагентної системи управління.

4. Вперше розроблено методику формування системи управління транспортною мережею зв’язку.

Практичне значення одержаних результатів у галузі розробки та

створення транспортних мереж зв’язку полягає у тому, що запропоновані в дисертаційній роботі моделі та створена на їх основі методика може стати основою для формування та створення практично реалізованих схем систем управління транспортною мережею зв’язку. Застосування яких може підвищити ефективності функціонування системи управління транспортною мережею зв'язку на технологічному та оперативно-технічному рівнях керування.

1. Удосконалено модель процесів взаємодії фрагмента транспортної мережі зв’язку і вузла мультиагентної системи управління. Дана модель, на відміну від існуючих, дозволяє укрупнено оцінити час, що витрачається на обробку повідомлень у МАСУ, залежно від різних характеристик технічної підсистеми.

2. Удосконалено модель процесів контролю і управління фрагментом транспортної мережі зв'язку яка, на основі застосування підсистеми мультиагентної системи управління, на відміну від існуючих, дозволяє провести оцінку тимчасових характеристик процесів функціонування ТМЗ залежно від технічних характеристик окремих підпроцесів управління ТМЗ, оцінку динаміки зміни стану фрагмента ТМЗ.

3. Розроблено модель функціонування та управління транспортної мережі зв’язку як складова мультиагентної системи управління, яка, на відміну від існуючих, дозволяє враховуються два стани всіх агентів: справне та несправне з урахуванням надійності та готовності до функціонування кожного агента

4. Розроблено методику формування системи управління транспортною мережею зв’язку яка, при умові застосування МАСУ, дозволяє з ймовірністю 0.7 та вище в 7 та більше разів скоротити час на цикл процесу управління.

Особистий внесок здобувача. Наукові положення та результати дисертації отримані автором самостійно. Особисто автором здійснена розробка загальної концепції дисертації, вибір об’єктів, визначено мету та задачі роботи, обрано та обґрунтовано методи досліджень.

В дисертаційній роботі узагальнено результати досліджень, виконаних автором самостійно і опублікованих в співавторстві в роботах [1-8].

У опублікованих у співавторстві роботах автором дисертації зроблено такий особистий внесок. В [1] подано особисто отриманий аналіз особливостей оцінки параметрів сигналу, призначеного для забезпечення взаємодії фрагмента транспортної мережі зв’язку і вузла мультиагентної системи управління. В [2] подано особисто встановлені особливості протікання процесу взаємодії фрагмента транспортної мережі зв’язку і вузла системи управління в ході вирішення завдань логістики. В [3] опубліковано особисто розроблену структуру моделі процесів контролю і управління фрагментом транспортної мережі зв'язку. В [4] подано особистого встановлені особливості процесів контролю і управління фрагментом транспортної мережі зв'язку на основі когнітивних методів керування інфокомунікаціями в умовах невизначеності. В [5] подано особисто розроблену структуру мультиагентної системи управління транспортною мережею зв'язку на основі технології CARRIER ETHERNET. В [6] подано особисто одержані результати моделювання процесу управління транспортною мережею зв’язку. В [7] подано особисто одержані результати аналізу основних властивостей систем управління транспортною мережею зв’язку. В [8] опубліковано особисто розроблену модель процесів контролю і управління фрагментом транспортної мережі зв'язку на основі підсистеми мультиагентної системи управління

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертації, практичні висновки і рекомендації, які одержані в ході роботи, апробовані та оприлюднені в ході: XIII наукової конференції студентства та молоді «Світ інформації та телекомунікації», (Київ, ДУТ, 21.10. 2021), регіонально міжнародна науково-технічна конференція МСЕ для країн Європи і СНД «Цифрова трансформація на основі інновацій у сфері ІКТ для розвитку цифрової економіки», (Київ, ДУТ, 15.12.2021)

Крім того, основні положення і результати дисертації, практичні висновки і рекомендації також апробовано на міжкафедральному семінарі Навчально-наукового інституту телекомунікацій Державного університету телекомунікація.

Публікації. Основні наукові положення та результати дисертаційного дослідження опубліковано в 8 наукових працях. У томи числі: в 1 науковій статті у періодичному науковому виданні іноземної держави, яке індексується наукометричною базою «Scopus» в 5 наукових статтях у періодичних виданнях України включених до “Переліку наукових фахових видань України”, 2 тезах доповідей та матеріалах конференцій.

Структура дисертації та її обсяг. Дисертаційна робота складається з анотації, змісту, переліку умовних скорочень вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків і має 124 сторінки основного тексту, 33 рисунки та 13 таблиць, 2 сторінки додатків. Список використаних джерел містить 70 найменувань і займає 7 сторінок. Загальний обсяг дисертаційної роботи – 134 сторінки.

РОЗДІЛ 1.
АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ПОБУДОВИ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ МЕРЕЖАМИ ЗВ'ЯЗКУ

1.1 Аналіз та класифікація основних видів систем управління транспортними мережами зв'язку

Для управління ТМЗ рішення задач швидкодії, ефективності та надійності неможливе без створення та розробки ефективної системи управління (СУ) ТМЗ, що дозволяє підтримувати на заданому рівні мереживі ресурси, необхідні для надання якісних послуг. ТМЗ по швидкодії та надійності є однією з найвибагливіших мереж зв'язку. На сьогоднішній день існує величезна кількість різних СУ ТМЗ, орієнтованих на деякі види процесів у телекомунікаційних системах (технологічні, мережеві, організаційні, бізнес-процеси). З метою виконання вимог до сучасних мереж зв'язку та виконання заданого рівня нових послуг з передачі різноманітних даних потрібна модернізація або розробка нової системи, що забезпечує виконання складних функцій управління мережею [1].

Принцип управління будь-якою мережею зв'язку ґрунтується на взаємодії ключових блоків управління для підтримки готовності мережі зв'язку, вироблення процесів управління та керівництво ними під час виконання поставлених завдань. Одним із компонентів для досягнення мети управління полягає у забезпеченні використання всіх функцій мереж зв'язку при вирішенні поставлених завдань. Досягнення цієї мети пов'язане з вирішенням низки завдань, основними з яких є: збирання, обробка та аналіз даних стану мережі; підготовка та прийняття рішень для усунення відмов та несправностей; розробка документів; доведення завдань до виконавців; організація та підтримка взаємодії підсистем; організація управління під час виконання завдань; резервування та контроль роботи підсистем [1,2].

Серед перелічених завдань найбільш важливою в рамках дослідження є завдання, пов'язані не тільки зі збиранням та аналізом даних стану мережі, а також завдання підготовки та прийняття рішень за наявності несправностей у мережі зв'язку. Процес прийняття рішення для усунення знайдених несправностей зазвичай здійснюється особою, яка приймає рішення (ЛПР). Адекватність прийнятого працівником рішення впливає показник своєчасності, отже, і якість процесу управління загалом [1,3]. Таким чином, вважається за необхідне доповнення СУ автоматизованими процесами управління елементами ТМЗ.

Поняття управління пов'язані з технічною експлуатацією, але включає його. При цьому технічну експлуатацію слід розуміти як виконавчий блок системи управління, яка засобами технічного обслуговування забезпечує в мережі зв'язку виконання тих рішень і команд, які прийняті системою управління, і повідомляє про результати їх виконання. На підставі чого, у системі управління можна виділити дві основні частини - систему прийняття рішень та систему виконання рішень. Перша – це інтелектуальна основа системи, що реалізується у вигляді операційної системи. Друга – це виконавчий механізм системи, що реалізується у вигляді програмно-технічних засобів технічної експлуатації [1,3,4]. У системі технічної експлуатації (СТЕ) виділяють низку підсистем, представлених на Рис. 1.1 [1,2].

Підсистема контролю повинна забезпечувати контроль зміни стану мережі та її компонентів у реальному масштабі часу для виявлення та локалізації несправностей з метою їх усунення та наскрізний контроль.

Підсистема вимірювань має здійснювати реалізацію завдань управління. Підсистема вимірювань призначена для експлуатаційних вимірювань трактів, каналів та апаратури зв'язку з метою оцінки показників та параметрів технічних засобів, що використовуються.

Підсистема відновлення та ремонту технічних засобів. Підсистема відновлення здійснює управління усуненням відмов та забезпечувати

працездатність обладнання, апаратури та ліній передачі при заданій якості та надійності з метою надання послуг зв'язку з найбільшою ефективністю. Підсистема ремонту вирішує завдання забезпечення надійної роботи мережі зв'язку, відновлення ресурсу зв'язку при зниженні вартості експлуатаційних витрат.

Підсистема резервування здійснює реалізацію завдань управління конфігурацією мережі чи її складових частин [1,3].

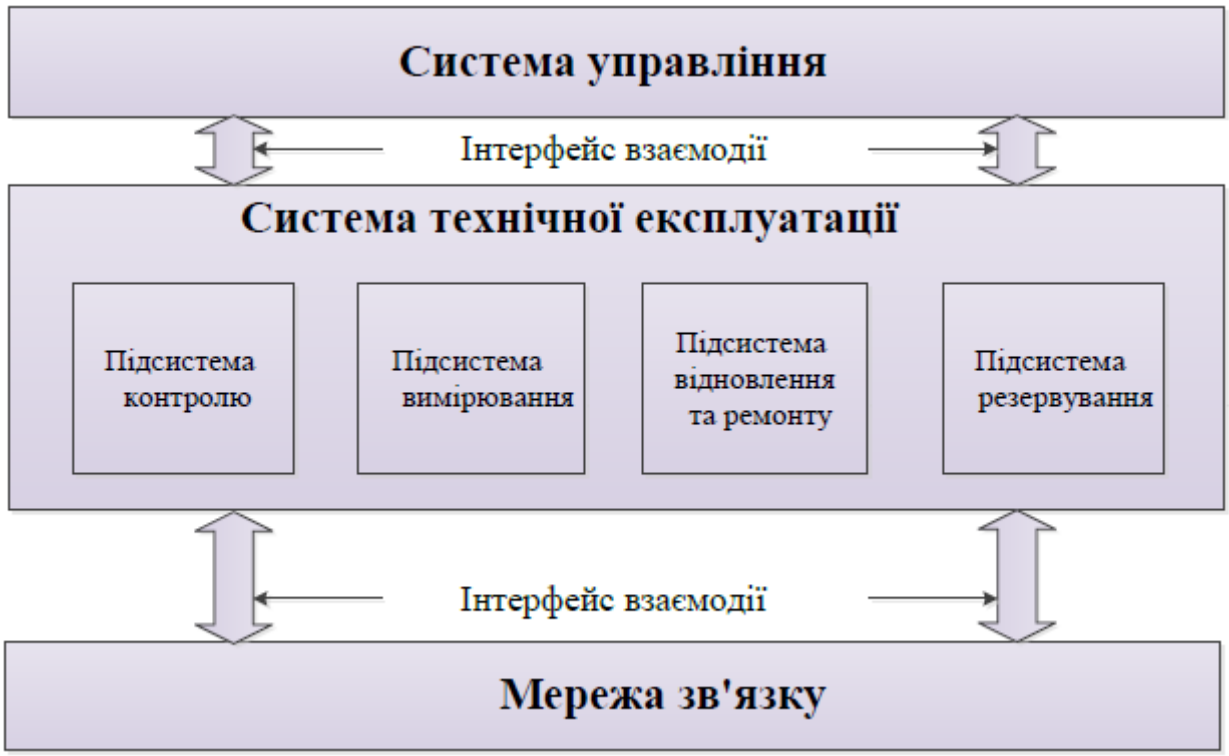


Рисунок 1.1 Система технічної експлуатації у взаємодії із системою управління та об'єктом

З урахуванням різноманітності підходів до управління мережами зв'язку, що реалізуються на базі широкого комплексу обладнання різних виробників, або інший СУ, з урахуванням її адаптації під конкретну ТМЗ, як правило, є складним багатокритеріальним завданням. Тому вибір та розробка СУ повинні починатися з розробки технічного завдання на СУ ТМЗ. На етапі формування вимог до перспективної СУ з'являється необхідність у класифікації СУ та підготовці множини відповідних параметрів для оцінки СУ. При цьому перехід від ознак класифікації СУ до її параметрів

здійснюватиметься на підставі функцій, що виконуються системою управління щодо обраного об'єкта управління – ТМЗ [3,4]. Для формування множини класифікаційних ознак СУ ТМЗ необхідно класифікувати основні види СУ ТМЗ.

У Таблиці 1.1 представлена класифікація за основними та частковими визначальними ознаками системи управління та об'єкта управління, на підставі яких сформовані вимоги до перспективної СУ ТМЗ на основі технології Carrier Ethernet (CЄ) [5,6,7].

До найпопулярніших СУ, розроблених провідними світовими компаніями, ставляться [5,6,8]: ITIL/ITSM [8], COBIT, PRINCE2, OSS/BSS, «Менеджер-агент», TMN. Узагальнення провідних концепцій СУ з основних порівняльних характеристик представлено вигляді Таблиці 1.2 [7,8].

Аналіз таблиці показав, що концепція ITIL має ряд переваг, до яких належать:

– найбільш тривалий період формування досвіду впровадження та організації підходу, що підтверджується набором стандартів серії ISO, починаючи з 2000 року;

– структурована та універсальна основа використовуваних сценаріїв управління для будь-якого виду та масштабу об'єкта управління;

– наявність набору критеріїв управління, які в сукупності дозволяють забезпечувати інформаційні послуги, затверджену документацію щодо якості сервісу, а також можливість його вимірювання;

– Наявність декількох версій концепції говорить про безперервне зростання можливостей технології;

– наявність до семи видів послуг, які взаємодіють між собою, що дозволяє керуючій системі отримувати дані про виконувані процеси на кожному рівні впровадження концепції та підтримувати необхідний обмін даними.

Таблиця 1.1

Признаки управління

	Класифікаційні признаки СУ	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
1	За просторовим розмахом (S_1^i)	Дальньої дії	Місцева			
2	Шлях, яким циркулює інформація (S_2^i)	Одноконтурні	Багатоконтурні			
3	Наявність каналів зворотного зв'язку(S_3^i)	З замкнутим контуром керування	З розімкненим контуром управління			
4	Спосіб використання інформації про стан об'єктів управління та довкілля (S_4^i)	Програмне керування	Управління з обурення	Управління станом		
5	Тип структури управління з погляду видів зв'язків між елементами (S_5^i)	Лінійний	Функціональний	Лінейні-функціональний	Однорангова	Ієрархічна
6	Приналежність до ланки ієрархії організаційного рівня (S_6^i)	Макрорівень	Мікрорівень			
7	За характером керованих об'єктів (S_7^i)	СУ підрозділами	СУ об'єктами	СУ спеціального призначення		
8	Приналежність до ланки управління ВАТ «РЗ» (S_8^i)	Корпоративного рівня	Дорожного рівня			
9	За параметром масштабу керованої мережі (S_9^i)	Міські	Локальні (місцеві)	Транспортні (магістральні)		
10	Призначення СУ мережею зв'язку (S_{10}^i)	Основні	Резервні			

11	За складом засобів забезпечення управління (S_{11}^{i})	Неавтоматизовані	Автоматизовані			
12	За принципами управління (S_{12}^{i})	Децентралізовані	Централізовані	Змішані		
1	За масштабом та призначенням об'єкта (O_{1}^{i})	Транспортна мережа	Мережа доступу	Технологічна мережа		
2	За характером взаємодії керуючих елементів у СУ (O_{2}^{i})	Без взаємодії	Послідовна взаємодія	Складна взаємодія		
3	Вид надання послуг (O_{3}^{i})	Телеграфні мережі	Мережі передачі даних	Обчислювальні мережі	Телефонні мережі	Інтегровані мережі
4	Тип споживачів (O_{4}^{i})	Мережа загального користування	Спеціальні (виділені) мережі прямого зв'язку			
5	Відомча приналежність до категорії рівня керування мережею зв'язку (O_{5}^{i})	Посадові особи	Пункти управління	Спеціальні системи управління		
6	Спосіб надання ресурсу (O_{6}^{i})	Із закріпленим ресурсом	З ресурсом, що видається на вимогу споживача			

Таблиця 1.2

Порівняння концепцій побудови СУ ТМЗ

	ITSM/ITIL	COBIT	SNMP	OSS/BSS	TMN
Організація підходу, стандарти	Сервісний процесний підхід. ISO 9001: 2000 [19] ISO 20000: 2005 [20]	Процесний підхід. ISO 9000 [21]; підходи стандартів PRINCE2, ITIL та ін.	Простий протокол прикладного рівня керування. RFC 1157 [22]	В основу роботи систем OSS/BSS покладено процесний підхід. [23]	Комплексний підхід до керування мережами зв'язку. Рек. МСЕ-Т М.3010 [24], М.3020 [25], М.3100 [26]
Призначення, цілі	Структурована основа для планування часто використовуваних процесів, ролей та видів діяльності, визначення зв'язків між ними.	Контроль та аудит існуючої системи управління IT, організація оперативного та стратегічного управління IT, аналіз витрат на IT проекти.	Взаємодія та управління об'єктами в керуючих мережах	Для комплексного керування телекомунікаційними ресурсами підприємства.	Зв'язує керовані ТКС за допомогою ряду інтерфейсів, що забезпечують отримання інформації про стан мережі та передачі до неї вироблених впливів.
Орієнтація	Керівники підприємств, IT менеджери та власники бізнес-процесів	Для менеджерів, аудиторів та IT-користувачів	Керівники підприємств, IT-менеджери	Концепція управління передбачає орієнтацію клієнта. Вирішення бізнес-завдань.	Управління будь-якими за структурою, складом та технологіями ТКС
Розробник	OGC (CCTA)	ISACA та ITGI	IAB	TMF	МСЭ-Т, 1992 рік
Критерії	1. Забезпечення бізнесу інформаційними сервісами. 2. Service Level Agreement -затверджений документ, яким послуги постачаються бізнесу. 3. Якість сервісу вимірюється.	1. Орієнтація на бізнес-вимоги; 2. Процесний підхід до управління IT; 3. Цілі контролю до управління IT-процесами; 4.Оцінка ефективності IT	1. Програма агента та менеджера 2. Модель керованого ресурсу 3. Наявність бази даних управлінь інформації	1. Підвищення якості та оперативності обслуговування;. 2. Моніторинг та управління ресурсів; 3. Взаємодія персоналу віддалених підрозділів; 4.Обнаруження і припинення шахрайських дій	Управління послугами мереж зв'язку, експлуатація та технічне обслуговування обладнання, оперативно-технічний контроль та адміністрування мережевими пристроями.

Існуючі версії	1991 р. - ITILvl Кінець 90х рр. -ITILv2* 2007 р - ITILv3	1992 – перша версія; 2000 – COBIT3.0; 2003 -COBIT3.1Online 2005 – COBIT 4.0 2007 - COBIT4.1 *	1990 р. - SNMPv. 1 SNMPv.2* SNMPv.3	Програма NGOSS (New Generation Operations Support System), що розроблена TMF.	Для управління об'єктами – архітектура «менеджер-агент» з протоколами CMIS/CMIS, SNMP. Прикладні завдання: CORBA, DCE, DCOM, DTP.
Особливості	1. Тривалий час переходу. 2.Недолік розуміння цілей впровадження та процесів. 3. Залучення керівництва та прихильності співробітників на всіх рівнях. 4. Інвестиції в інструментальні кошти.	1. Вимагає використання специфічних стандартів 2. Керівництво, а чи не готове рішення; 3. Вимагає кастомізації з урахуванням бізнес цілей компанії, ризиків та організації, проектів та інфраструктури IT.	1. Складні правила кодування. 2. Не ефективний із т.з. користувачів мережі передачі даних 3. v.1, v.2 немає аутентифікації	Впроваджуються тільки на основі побудованої моделі процесів оператора зв'язку, є компонентом великої роботи з організації діяльності компанії та вибору пріоритетів.	Завдання: підтримка ТКС у робочому стані за допомогою системи експлуатації та технічного обслуговування.
Переваги	1.Орієнтація роботи IT на вирішення завдань бізнесу; 2.Стандарти та правила для IT-персоналу 3.Впровадження підходів менеджменту якості в управління IT-сервісами; 4.Постійно переробляється і оновлюється.	1. Відповідність вимогам бізнесу; 2. Зрозуміле для менеджменту бачення діяльності IT; 3. Визначення чіткого володіння IT процесами та розподілу відповідальності 4. Повнота.	1. Простий, але здатний 2. Простий обмін інформацією 3. Просте управління продуктивністю мережі 4. Вирішує проблеми мережі 5. Прикладні програмні інтерфейси	Бізнес-процес дозволяє простежити та оцінити роботу всіх підрозділів компанії на всіх рівнях, що дає оператору можливість побачити загалом не лише мережу, а й увесь бізнес.	1) оптимізує систему управління; 2) забезпечує механізми захисту та цілісності даних; мінімізує час локалізації та усунення несправностей у мережі; розширює спектр послуг зв'язку користувачам, що надаються.
Структура основної версії підхода	Сім елементів, що взаємодіють між собою. Підтримка послуг та Надання послуг-центральні.	Концептуальне ядро стандарту СОБ1Ту .4.1 сформовано із 34 високорівневих процесів (які покривають близько 200 цілей контролю), згрупованих у 4 домени (сфери діяльності)	На елементах мережі (ЕС) – ПЗ агента; на робочих станціях-менеджерах – монітор з оперативним інформуванням. Агент наповнює модель набором показників ЕС - база даних М1Б. Менеджер використовує цю інформацію.	Набір із 14 модулів, що використовуються ТК компаніями.	Центри (станції) управління є основними програмно-апаратними засобами. Ієрархічна структура з чотирьох рівнів управління: елементи мережі, мережа, послуги та адміністративний рівень.

1.2. Аналіз основних властивостей систем управління транспортною мережею зв’язку

СУ ТМЗ можна у вигляді безлічі процесів, що реалізують функції та завдання управління. Розглядаючи властивості окремих процесів СУ, можна сформувати безліч вимог до СУ ТМЗ СЕ.

Будь-яка система управління, що є комплексом взаємодіючих керуючих об'єктів, характеризується рядом властивостей і параметрів. Основні класи властивостей представлені у Табл. 1.3. Кожній властивості відповідає власний параметр оцінки СУ. Ключовими класами є властивості функціонування процесу управління та властивості функціонування безпосередньо самої керуючої системи [1,3,7].

Будь-який процес управління, що є сукупністю цілеспрямованих операцій збору та обробки інформації, прийняття рішень, доведення рішень до об'єктів управління, а також контролю виконання вироблених рішень можуть бути реалізовані різними способами [5,7]. Якість процесу управління сприймається як сукупність властивостей, що зумовлюють його придатність до деякого цільового застосування. Для оцінки якості СУ виділено властивості процесу управління та визначено основні параметри їх оцінки.

Для виконання свого цільового призначення сама система управління ТМЗ повинна відповідати ряду вимог, що пред'являються як з боку вищої системи, так і з боку реалізованих процесів управління. Під вимогою розуміється умова, становище, розпорядження, що відбиває будь-яке співвідношення показників якостей системи та його допустимих значень. Вимоги до СУ ТМЗ висуваються з вимог до значень показників її істотних властивостей: готовності, стійкості, мобільності, продуктивності, керованості (див. Табл. 1.2).

Основним фактором, що характеризує успішне вирішення завдань щодо забезпечення деяких властивостей керуючої системи, є час. Тож оцінки

основних параметрів цих властивостей використовуються ймовірносно - тимчасові характеристики показників якості СУ ТМЗ.

Визначення в якості основних, найбільш суттєвих властивостей своєчасності, достовірності та безпеки обумовлено специфічними особливостями процесу управління мережами зв'язку, які висловлені у вимогах стійкості, безперервності, оперативності та скритності.

Усі безліч вимог до перспективної СУ ТМЗ РЄ можна подати як класифікуючи її властивостей і відповідним кожному властивості параметрів, які у Таблиці 1.3 [5,6].

Таблиця 1.3

Характеристики системи та процесу управління ТМЗ

Клас властивостей	Властивість	Параметр	Примітка
Структурно-топологічні властивості	Структура системи управління, кількість елементів та їх взаємозв'язку	Тип структури	$Class_j^i \supseteq \{S_{1...12}^i, O_{1...6}^i\}$ (див. табл. 1.1)
		$K \geq 1$	Залежно від просторового розмаху кількість керованих елементів (К) може бути різною, але завжди більшою за нуль
		Тип взаємодії елементів	Лінійний, функціональний, лінійно-функціональний
	Просторовий розмах	$L = \sum_{i=1}^{K} L_i$ $N = \sum_{i=1}^{K} N_i$	Просторовий розмах мережі можна оцінювати за: - сумарної протяжності лінії зв'язку (L) - за кількістю рівнів ієрархії (N)
Функціонування процесу управління	Адекватність	$K_{пнр} = 1 - К_{пр}$	Коефіцієнт ризику підготовки неякісного рішення ($К_{пнр}$) є зворотним за значенням коефіцієнта підготовки рішення $К_{пр}$
	Оптимальність	$O_i = min \sum_{i=1}^{p} R_i$	Показник оптимальності (O_i) зводить до мінімуму витрати ресурсів (R_i) за рахунок пошуку найменшого

	Оперативність управління	$T_{упр}^{доп} = T_{ч}^{доп} + T_{пд}^{доп}$	$T_{ч}^{доп}$- припустимий час вироблення рішення; $T_{пд}^{доп}$- допустимий час передачі даних
	Неперервність	$T_{упр} \leq T_{упр}^{доп}$	Визначає допустимий час у перерві зв'язку, необхідний для надання та отримання послуг з управління
	Скритність	$K_{скр} = 1 - P_{К}$	Коефіцієнт скритності ($K_{скр}$) визначається ймовірністю компрометації прийнятого рішення ($P_{К}$)
	Готовність	$T_{Г} \leq T_{Г}^{доп}$	Фактичний час приведення СУ у необхідний ступінь готовності ($T_{Г}$) не повинен перевищувати допустимий час за цим параметром ($T_{Г}^{доп}$
Функціонування системи управління	Стійкість (живучість, надійність)	$N_{у} = P_{ж} \cdot P_{н}$	Стійкість СУ ($N_{у}$) залежить від її живучості ($P_{ж}$), ймовірності ураження системи) та надійності ($P_{н}$), коефіцієнта готовності системи).
	Мобільність	$T_{моб} = t_{св} + t_{розв} + t_{нк}$	$t_{св}$ – час згортання елементів системи зв'язку (вузлів, ліній, станцій); $t_{розв}$- час розгортання елементів системи зв'язку (вузлів, ліній, станцій); $t_{нк}$- час налаштування каналів та здачі в експлуатацію. При цьому має виконуватися умова відповідності фактичного часу його допустимому значенню: $T_{моб} \leq T_{моб}^{доп}$
	Продуктивність	$T_{обр} \leq T_{обр}^{доп}$	$TT_{обр}$ і $T_{обр}^{доп}$- фактичний час обробки та перетворення інформації та її допустимий параметр відповідно
	Керованість	$T_{перех} \leq T_{перех}^{доп}$	Система керована, якщо при будь-якому з допустимих станів існує дія, що переводить систему в новий стан за допустимий час.

1.3. Аналіз архітектури типової системи управління транспортною мережею зв’язку

Для обґрунтованого формування нових напрямів у галузі управління ТМЗ на першому етапі необхідно дати аналіз існуючої архітектури типової СУ ТМЗ.

Єдина система моніторингу та адміністрування (ЄСМА) типової мережі зв'язку – це потужний інструмент управління технологічною мережею зв'язку, заснований на інтегрованому застосуванні сучасних телекомунікаційних та інформаційних технологій [1,2,3].

Організаційна структура побудови визначає рівні (корпоративний, регіональний, зоновий) та органи (центральні та регіональні) управління. У складі органів управління на відповідному рівні передбачені такі центри управління та технічного обслуговування: центр управління системою загальний та регіональний (ЦУСз/р), центр управління технічним обслуговуванням загальний та регіональний (ЦТУз/р) та ЦТО. В даний час розміщення ЦУСз передбачається на базі центральної станції зв’язку (ЦСЗ), ЦТУр - в управліннях регіональних структур, ЦТО - на ділянках, які визначаються залежно від експлуатаційної довжини та кількості встановленого обладнання [1,3,7,8].

Для забезпечення інформаційного обміну між телекомунікаційним обладнанням та програмно-технічними засобами системи, у процесі вирішення всього комплексу завдань управління та технічної експлуатації, має використовуватися мережа передачі даних на базі виділеної IP-мережі.

В ЄСМА всі події, що виникають у процесі функціонування телекомунікаційної мережі, приймаються та обробляються персоналом. Класифікація всіх можливих подій представлена у [8,9,10].

При створенні ЄСМА для типової мережі зв’язку зазвичай використовується бібліотека ITIL, що включає передовий досвід найбільш ефективних методів організації та управління для компаній, що ведуть свою

діяльність у галузі інформаційних технологій. Концепцією ITIL не передбачається опис методів застосування [8]. Крім того, як при впровадженні будь-якого проекту в компанію, слід поставити собі за мету, на досягнення якої буде спрямована зміна компанії. Мета, як правило, спрямована на вирішення завдань та проблем, що виникли в управлінні. Ці проблеми визначають необхідність, передумову впровадження нової СУ.

ЄСМА формувалася протягом кількох років, а процес управління типовою мережею зв'язку у цей час зазнав кардинальних змін [6,8,11].

На Рис. 1.1 представлені основні компоненти типової існуючої архітектури СУ єдиної системи моніторингу та адміністрування (ЄСМА) на базі технологій SDH/PDH, а в основі її лежить концепція ITIL [6,8].

Відповідно до концепції розвитку типової ТМЗ [1-3] простежується послідовний перехід від концепції ITIL, на основі якої впроваджувалась ЄСМА. А модель побудови СУ відповідає трирівневій структурі (організаційний, оперативно-технічний та технологічний рівні). При цьому ЄСМА як модуль моніторингу залишається існувати у СУ ТМЗ а ITIL визначає ряд функціональних підсистем управління, але в ЄСМА реалізована лише частина з них (див. додаток В) [6,7]. Вибрані в дисертації об'єкт управління у вигляді ТМЗ та технологія побудови мережі операторського класу з застосуванням перспективних технології, однією з яких може бути технологія Carrier Ethernet (СЄ) повністю відповідають сучасним тенденціям розвитку телекомунікаційних мереж зв'язку в галузі пакетних систем передачі. А механізми Operation, Administration, Maintenance (OAM) [12,13], стандартизовані в технології СЄ, здатні вирішувати ряд завдань, пов'язаних з оперативним контролем та управлінням станом як окремих мережевих елементів на рівні управління елементами мережі (EMS – element management system), так і ТМЗ у цілому, забезпечуючи рівень управління мережею (NMS - network management system), відповідних концепції TMN [3,12,13].

Розглянуті в Розділі 1.2 (див. Табл. 1.4) сучасні підходи до побудови СУ ТМЗ не здатні підвищити оперативність функціонування СУ розподіленим об'єктом управління на оперативно-технічному і технологічному рівнях. Оскільки управління мережею великого масштабу з урахуванням обраних технологій, однією з яких може бути технологія СЄ, немає єдиної методичної основи побудови СУ, то в рамках досягнення поставленої мети дисертації пропонується з урахуванням апарату агентного моделювання [14,15] сформувати підсистему мультиагентного управління (МАСУ) у складі існуючої СУ. Архітектура перспективної СУ ТМЗ на основі технології СЄ представлена також на Рис.1.2.

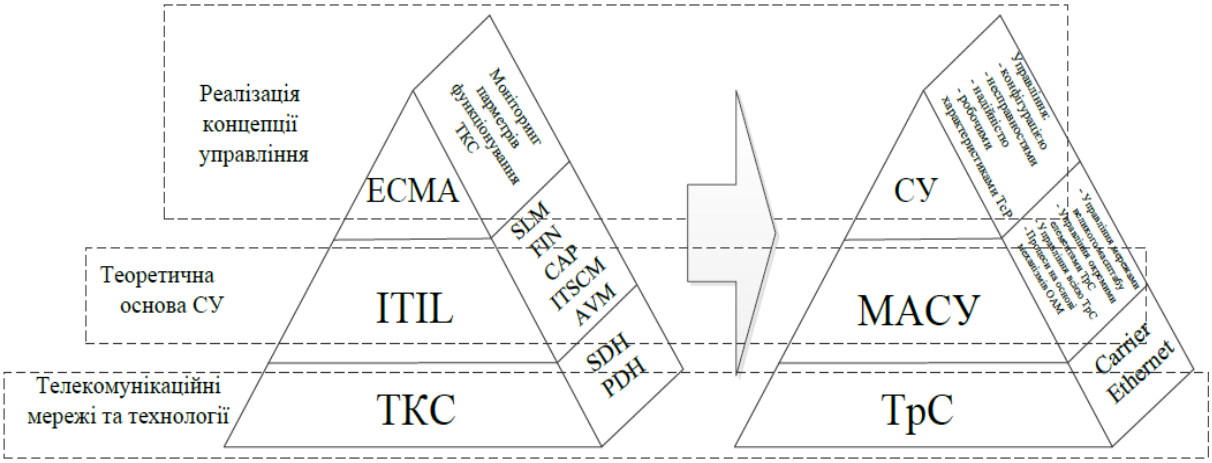


Рисунок 1.2 Існуюча та перспективна архітектури СУ типової ТМЗ

Для виконання поставлених завдань перед СУ ТМЗ необхідно застосування МАСУ, яка орієнтована на [15,16]:

– збирання, накопичення та аналіз отриманих даних для кожного елемента ТрС;

– вибір та паралельне виконання одного або декількох процесів контролю та управління станом ТРС (на основі механізмів OAM) в умовах недостатності часових ресурсів;

– формування варіантів рішення щодо реконфігурації ТрС при знайдених несправностях в результаті реалізації процесів і при виявленні

невідповідностей виміряних параметрів вимогам до параметрів елементів ТрС, що задаються;

– децентралізований спосіб керування мережевими елементами.

1.4 Обґрунтування вибору технології Carrier Ethernet для побудови перспективної транспортної мережі зв’язку

Довгий час технології SDH/PDH служили основою транспортних мереж зв'язку (ТРС) [3]. Проте аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду [2,3] розвитку телекомунікаційних мереж свідчить про активний перехід до пакетно-орієнтованих технологій, а саме до Carrier Ethernet та MPLS-TP [4, 5, 18].

Потреба в одноманітному способі передачі даних стала причиною розробки технології Ethernet, яка лягла в основу стандарту IEEE 802.3. Проте технологія Ethernet має недолік, який полягає у відсутності синхронності передачі. Це призвело до неможливості гарантованої та своєчасної доставки пакетів даних. Для усунення недоліків було розроблено ряд технологій поверх Ethernet, але багато з них мають високу вартість реалізації. На початку 2000-х років. з'явилася нова технологія – Carrier Ethernet (CE), або Ethernet операторського класу [18,19]. Відмінною особливістю технології CE від інших технологій операторського класу є наявність стандартизованих механізмів OAM (Operation, Administration, Maintenance – експлуатація, адміністрування та технічне обслуговування) для досягнення ключових цілей управління ТРС [11,12,20,21].

Технічним комітетом у рамках технології CE описані рішення щодо ефективного мережевого управління та на основі положень OAM забезпечує здійснення наскрізного управління несправностями (Fault Management), управління продуктивністю (Performance Management), управління конфігураціями (Configuration Management), а також моніторинг параметрів

роботи (Performance Management) у кількох взаємопов'язаних мережах [11,12].

Для кожного з перерахованих видів управління є свій набір функцій, сукупність яких дозволяє керувати несправностями, продуктивністю та конфігурацією мережі, а також керувати взаємодією кількох мереж.

У мережах, побудованих на основі технології СЄ, виділяють три домени (рівня): опорний домен (core), домен доступу (access) та агрегаційний домен (aggregation) [20,21]. Технологія РЄ, як правило, відноситься до домену доступу та агрегаційного домену.

Перспективна ТМЗ може бути побудована на основі трирівневої моделі [1,3,15] з виділенням: транспортного рівня, рівня агрегації та рівня доступу. Причому рівень агрегації забезпечує термінування, підсумовування абонентського трафіку та підключення до транспортного рівня мережі передачі між різними мережами рівня доступу.

Оскільки при виборі обладнання ТМЗ відповідно до [3] повинні реалізовуватися вимоги щодо відкритості застосовуваних телекомунікаційних технологій та їх відповідність відомчим та міжнародним стандартам, технологія Carrier Ethernet повинна забезпечувати сумісність такого обладнання.

На даний момент немає чітких правил визначення меж між рівнями ТМЗ. Залежно від особливостей телекомунікаційного оператора ці межі змінюються у своїх значеннях. Так, наприклад, рівень доступу для операторів загальномережевого рівня може відповідати рівню агрегації, і навіть частково транспортного рівня, для корпоративної мережі зв'язку. В умовах такого нечіткого поділу, що розглядаються в дисертації рівні ТМЗ та рівні технології СЄ, запропоновано співвіднести так, як показано в Табл. 1.3

Для обґрунтованого вибору технології операторського класу [20,21] наведено аналіз та порівняння технології Carrier Ethernet з однією з провідних технологій операторського класу за основними критеріями.

Таблиця 1.3

Запропонована відповідність рівнів ТМЗ та доменів технології СЄ

Домени СЕ	Рівні ТМЗ
Core	Транспортный рівень
Aggregation	Рівень агрегації
Access	Рівень доступу

Побудова ТМЗ на основі технології СЄ неможлива без характеристики окремих елементів ТМЗ з урахуванням функціональних і технологічних можливостей РЄ. Для якісного управління ТМЗ адміністратору необхідно знати велику кількість різноманітного обладнання ТМЗ СЄ, своєчасно обробляти великий обсяг інформації в складних умовах управління. Перевагою сучасних ТМЗ є наявність автоматизованих процесів управління, що дозволяють використовувати засоби вбудованої діагностики елементів мережі. Сформований комплекс діагностичних параметрів елементів ТМЗ СЕ представлений в Табл. 1.2 [6, 20,21].

таблиця 1.2

Діагностичні параметри для елементів ТМЗ СЕ

Класифікація параметру по мережевому елементу	Діагностичний параметр	Ідентифікатор параметра
Мультиплексор та/або Демультиплексор P_{NTpC1}	Вхідні втрати	$Pv_i = \{Pv\}$
	Діапазон атенюатора	$Da_i = \{Da\}$
	Максимальна потужність на вході	$Pm_i = \{Pm\}$
	Розмір карти	$Rk_i = \{Rk\}$
	Слоти для встановлення	$Sm_i = \{Sm\}$
	Споживана електроенергія	$Ep_i = \{Ep\}$
Модем P_{NTpC2}	Рівні прийому/передачі	$Pin_i = \{Pin\}$ $Pout_i = \{Pout\}$
	Рівні виявлення несучої	$Pn_i = \{Pn\}$
	Параметри захисного та викликного тону	$Pt_i = \{Pt\}$
	Синхронізація передачі	$Sp_i = \{Sp\}$
	Параметри тонального набору	$Ptn_i = \{Ptn\}$
	Параметри імпульсного набору	$In_i = \{In\}$
Комутатор	Швидкість фільтрації кадрів	$Vf_i = \{Vf\}$

P_{ETpC1}	Швидкість просування кадрів	$Vp_i = \{Vp\}$
	Пропускна спроможність	$C_i = \{C\}$
	Затримка передачі кадру	$Zp_i = \{Zp\}$
	Режим роботи	$W_i = \{W\}$
	Розмір буфера	$B_i = \{B\}$
	Розмір внутрішньої адресної таблиці	$Tva_i = \{Tva\}$
	Продуктивність внутрішньої шини	$Ps_i = \{Ps\}$
	Продуктивність процесорів	$Ppr_i = \{Ppr\}$
Маршрутизатор P_{ETpC2}	Перелік протоколів маршрутизації	$Lpr_i = \{Lpr\}$
	Список інтерфейсів	$Lint_i = \{Lint\}$
	Кількість слотів	$Ns_i = \{Ns\}$
	Продуктивність	$P_i = \{P\}$
Шлюз P_{ETpC2}	Наявність механізмів резервування ресурсів	$Mr_i = \{Mr\}$
	Підтримка інтерфейсів	$Sint_i = \{Sint\}$
	Масштабованість	$M_i = \{M\}$
	Транспортні архітектури	$Ta_i = \{Ta\}$
	Забезпечення факс-зв'язком	$Fax_i = \{Fax\}$
	Можливість управління	$P_i = \{O\}$
	Можливість встановлення різних алгоритмів кодування мовлення	$Cs_i = \{Cs\}$

1.5 Постановка завдання на наукове дослідження

Узагальнена архітектура структури МАСУ ТМЗ СЕ (Рисунок 1.3) представлена у вигляді сукупності основних структур $A = \{S_{\text{пфМАСУ}}, S_{\text{ІМ}}, S_{\text{ВВР}}\}$, де [6, 15,16]:

– $S_{\text{пфМАСУ}}$ - алгоритмічна структура процесу функціонування МАСУ ТМЗ СЕ;

– $S_{\text{ІМ}}$ - структура імітаційних моделей процесів в МАСУ ТМС СЕ;

– $S_{\text{ВВР}}$ - структура процесу реконфігурації ТРС СЕ.

Також в архітектурі МАСУ може бути представлений графічний інтерфейс користувача.

Алгоритмічна структура процесу функціонування МАСУ ТМЗ $S_{\text{пфМАСУ}} = \{G_{\text{ТрС}}, A_{1\ldots8}, T_{\text{ТрС}}, F_{\text{ТрС}}, B_{\text{МАСУ}}, T_{\text{цу}}\}$ можемо подати безліччю взаємопов'язаних елементів ТМЗ $N_{\text{КЕ}}$, що включають вузли $\text{Е}_{\text{ТрС}}$ та системи

передачі в ТМЗ $N_{\text{ТрС}}$ з урахуванням вартості обладнання ТМЗ N_{NhC}та ресурсів ТМЗ на базі ТКС $F_{\text{ТрС}}$.

Процес функціонування МАСУ ТМЗ в свою чергу вимагає аналізу та удосконалення процесів взаємодії одиничних елементів ТМЗ і пов’язаного з ним вузла МАСУ [22,23,24]. Тобто проведення досліджень в напрямку безпосередньо удосконалення модель процесу взаємодії елемента транспортної мережі зв’язку і вузла мультиагентної системи управління [15,21].

Сукупність параметрів ТМЗ P_{ETpCe}та її елементів у вигляді структури ТМЗ $G_{\text{ТрС}}$ та окремих структурних фрагментів S_{TpC} з урахуванням вимог до встановлених параметрів NP_{ETpCe} дозволили сформувати сукупність станів процесу функціонування та відновлення ТМЗ $A_{1\ldots8}$ та бази даних МАСУ ТМЗ $B_{\text{МАСУ}}$ для отримання цільової функції у вигляді тривалості циклу управління $T_{\text{цу}}$ [15,21].

Контроль якості станів процесу функціонування, відновлення та управління ТМЗ вимагає наявності певного механізму, який представляється в вигляді окремо створеної типової моделі процесів контролю і управління елементами ТМЗ.

Робота, що спрямована на організацію взаємодії МАСУ та елемента ТМЗ на основі СЕ вимагає врахування наявності вказаної типової моделі. Тобто проведення досліджень, направлених безпосередньо на встановлення особливостей такої взаємодії та подальшого удосконалення моделі процесів контролю і управління елементом транспортної мережі зв'язку на основі підсистеми мультиагентної системи управління [23-25].

Архітектура МАСУ по управлінню ТрС СЕ

Алгоритмічна структура процесу функціонування МАСУ ТрС СЕ

$S_{пфМАСУ}=\{G_{ТрС},A_{1...8},T_{ТрС},F_{ТрС},B_{МАСУ},T_{пу}\}$ – структура процесу функціонування МАСУ ТрС СЕ,
де: $G_{ТрС}=\{S_{ТрС},N_{кэ}\}$ – структура ТрС,
$B_{МАСУ}=\{D_{ТрС},M_{ТрС},A_k\}$ – база даних МАСУ ТрС,
$D_{ТрС}=\{G_{ТрС},P_{ETрСe},NP_{ETрСe}\}$ – дані о ТрС та її елементів,
$M_{ТрС}$ – домени ТрС для передачі управляючої інформації,
A_k – множество блоков управления $\{A_{STATEk}, A_{STRk}\}$ и агентов $\{A_{REGk}\}$ в узлах МАСУ;
$T_{пу}$ – время реализации цикла управления.

Структура імітаційних моделей процесів в ТрС СЕ при реалізації управління МАСУ

$S_{ИМ}=\{S_{ДСМ},S_{АМ}\}$ – структура імітаційних моделей процесів в ТрС,
где $S_{ДСМ}=\{N_{МАСУ},OAM_{k1}\vee OAM_{k2},y_{1...8}\}$ – структура моделі процесу контролю та управління фрагментом ТрС,
$S_{АМ}=\{N_{МАСУ},OAM_{kn},y_{1...8}\}$ – структура моделі функціонування та управління фрагментом ТрС,
де $N_{МАСУ}=\{Class^i_j,K,L,N,K_{пр},O,T^{доп}_{упр},K_{скр},T^{доп}_{г},N_y,T_{моб},T^{доп}_{обр},T^{доп}_{перех}\}$ безліч вимог до МАСУ ТрС;
$OAM_{kn}=\{OAM_{k1},OAM_{k2},OAM_{k3}\}$ – процеси контролю стану та управління елементами ТрС в рамках технології СЕ та механізмів ОАМ, що в ній реалізуються ,
$OAM_{kn}\supseteq\{X_{ke}, A_{REGke}\ O_{ke}, V_{ke}, Ц\}$ – підпроцеси у складі обраного процесу ОАМ,
$y_{1...8}$ – вихідні дані, відображаючі стан підпроцесів в OAM_{kn}.

Інформаційна структура процесу вироблення варіантів рішень по зміненню конфігурації ТрС СЕ

$S_{ВВР}=\{Y_{ASTATEk},Y_{ASTRk},F_{OAM}\{F_{OAMf}\},V_{ТрСx}\}$ де: $Y_{ASTATEk}$ и Y_{ASTRk} – дані оцінки стану елементів та дані по формуванню нової конфігурації k-го фрагменту ТрС; $F_{OAM}\{F_{OAMf}\}$ – безліч типових несправностей, що виявляються в процесі OAM_{kn}; $V_{ТрСx}$ – формування безлічі планів заходів в процесі вироблення безлічі $S_{ВВР}$.

Рисунок 1.3 Узагальнена структура побудови МАСУ з управління ТМЗ із зазначенням детальних параметрів, що входять до кожної структури

Імітаційні моделі процесів контролю стану та управління в МАСУ ТМЗ СЕ використовують схожу структуру, яка включає наступні елементи множин [26-29]:

– безліч вимог до МАСУ $N_{МАСУ}=\{Class^i_j,K,L,N,K_{пр},T^{доп}_{упр},K_{скр},T^{доп}_{г},N_y,T_{моб},T^{доп}_{обр},T^{доп}_{перех}\}$, отриманих у Розділі 1.2 дисертації (див. табл. 1.5), де $Class^i_j\supseteq\{S^i_{1...12},O^i_{1...6}\}$-

класифікація типу структури СУ $S^i_{1...12}$ та об'єкта управління $O^i_{1...6}$, представлені в Табл. 1.3;

– набір ключових процесів ОАМ в СЕ $OAM_{kn} = \{OAM_{k1}, OAM_{k2}, OAM_{k3}\}$, де OAM_{k1} - процес контролю стану та управління елементом ТрС на підставі результату пошуку несправностей у каналах зв'язку маршрутів, OAM_{k2} - процес контролю стану та управління елементом ТМЗ на підставі вхідний керуючої інформації від МАСУ, OAM_{k3} - об'єднаний процес контролю стану та управління елементом ТМЗ;

– набір вихідних даних $y_{1...8}$ як результат роботи цих процесів.

Склад попередньо обраного процесу представлений наступним безліччю $OAM_{kn} \supseteq \{X_{ke}, A_{REGke}, O_{ke}, V_{ke}, Ц\}$, де [23-25,29]:

– X_{kn} - вхідні дані процесу як параметрів елементів k-го фрагмента ТМЗ, вимогам до них і безлічі блоків управління МАСУ;

– A_{REGke}- безліч агентів в k-му вузлі МАСУ, що характеризують елементи k-го фрагмента ТМЗ;

– O_{ke} - визначення операцій поточного процесу у вигляді механізмів ОАМ;

– V_{ke} - безліч обмежень і допущень процесу у вигляді обмежень безлічі повідомлень, що передаються;

– Ц - мета управління, для реалізації якої використовується вибраний процес.

Структура обраної моделі та стан процесу взаємодії вимагают вирішення окремого завдання щодо управлянні ТМЗ з урахуванням її стану, як складової МАСУ .

Тобто безпосередньо розробки моделі функціонування та управління транспортної мережі зв’язку як складової мультиагентної системи управління.

Результати розрбки математична моделі взаємодії МАСУ та ТМЗ СЕ на основі комплексу розроблених процесів ОАМ будуть представлена в відповідному розділі дисертаційної роботи. Результати та особливості функціонування представлених дискретно-подійної $S_{\text{ДСМ}}$ та агентної S_{AM}моделей доцільно навести в вигляді схем та податьи рисунками.

Структура процесу реконфігурації ТМЗ СЕ $S_{BBP} = \{Y_{ASTATEk}, Y_{ASTRk}, F_{OAM}\{F_{OAMf}\}, V_{TpCx}\}$ повинна включати дані оцінки стану елементів $Y_{ASTATEk}$ і дані щодо формування нової конфігурації Y_{ASTRk} k-го фрагмента ТМЗ, безліч типових несправностей в $F_{OAM}\{F_{OAMf}\}$, що виділяються в процесі OAM_{kn} безліч сформованих планів заходів щодо зміни ТрС V_{TpCx}у процесі вироблення всієї множини S_{BBP} [30,31].

Оцінка якості функціонування МАСУ ТМЗ СЕ при використанні механізмів та архітектури ОАМ доцільно провести за показником оперативності $\text{Т}_{\text{упр}}$. Результати оцінки будуть представлені у відповідному розділі дисертації.

Формування певної архітектури МАСУ $A* \in \Phi$ передбачає вибір із деякої множини можливих архітектур Φ за відповідним правилом χ, а саме $\chi: \Phi \rightarrow A^*$. У загальному випадку основними атрибутами даного правила вибору х є обмеження, що накладаються реалізованості архітектури МАСУ $\{A^{\text{доп}}(S_{\text{МАСУ}})\}$, яким повинна задовольняти обирається архітектура МАСУ $A^* \in A^{\text{доп}}(S_i) \subset \Phi$ з урахуванням структури та топології ТМЗ [34-36].

Реалізована архітектура Ar^*повинна враховувати кілька функціональних обмежень, які у умовах функціонування МАСУ, які залежить від умови функціонування ТМЗ, наприклад Z - перелік завдань, виконуваних МАСУ, R- безліч ресурсів на вирішення поставлених завдань МАСУ, Q - необхідні показники якості функціонування МАСУ [32-34].

Таким чином, цільова функція повинна враховувати зазначені обмеження: $Ц = f_ц(Ar, Z, R, Q)$. Максимум цільової функції $Ц^*$ досягатиметься при виборі архітектури МАСУ та визначати вибір архітектури Ar^*та може бути представлений виразом: $Ц^* = f_ц(Ar^*, Z, R, Q)$[101].

Враховуючи, що безліч допустимих архітектур Ar^*може бути нескінченним, то в реальних умовах потрібно обмежитися кінцевою множиною N - допустимих раціональних структур, причому $Ar_n^{рац}$ повинен враховувати [16, 35]: $Ar_n^{рац} = \left\{S_{пфМАСУ}^{рац}, S_{ДСМ}^{рац}, S_{АМ}^{рац}, S_{ВВР}^{рац}\right\}, n = 1, \dots, N$.

Завдання формування раціональної структури $S_i^{рац}$може бути подане у такому вигляді: $S_i^{рац} \in \{S_i^*\} \subseteq S_{ТКС}$, де S_i^* - варіант побудови структури ТРС, $S_{ТКС}$ - структура ТКС, а також характеристики цих структур також взаємопов'язані наступним ставленням: $X^{рац}(S_i^{рац}, K) \rightarrow extrX(S_i^*, K) \Rightarrow S_i^{рац}$, де $X^{рац}(S_i^{рац}, K)$ – сукупність характеристик $S_i^{рац}$, К – узагальнений показник раціональної структури $S_i^{рац}$ [36,37]. Слід зазначити, що коефіцієнт визначення раціональної структури K кожної S_i свій.

Для алгоритмічної структури процесу функціонування МАСУ ТМЗ $S_{пфМАСУ}$ узагальнений показник раціональної структури $К_{пфМАСУ}$ може визначатися тривалістю виконання процесу управління ТРС - $Т_{цу}$.

При виборі раціональної структури імітаційних моделей необхідно задати критерій вибору структури $S_{ДСМ}$ або $S_{АМ}$, наприклад, за кількістю типових несправностей, що виявляються в процесі ОАМ. Узагальнений показник $K_{АМ}$ для вибору раціональних структур $S_{ДСМ}$ або $S_{АМ}$ може визначатися кількісними показниками даних про несправності елементів ТрС з урахуванням реалізованих механізмів ОАМ.

Коефіцієнт K_{BBP}для вибору раціональної структури S_{BBP}при формуванні нової конфігурації ТМЗ в $F_{OAM} = \{F_{OAMf}\}$ враховує повноту сформованого безлічі несправностей, що відповідають типовим несправностям і оцінку прийнятих рішень за показником надійності конфігурованого фрагмента ТМЗ, [28,29,37]

Пропонована архітектура МАСУ як сукупності взаємозалежних структур дозволила розробити структуру дослідження, представлену Рисунку 1.4.

У наступних розділах буде подано запропоновані моделі послідовного формування трьох структур, що у сукупності утворюють цілісну методику формування системи управління транспортною мережею зв’язку.

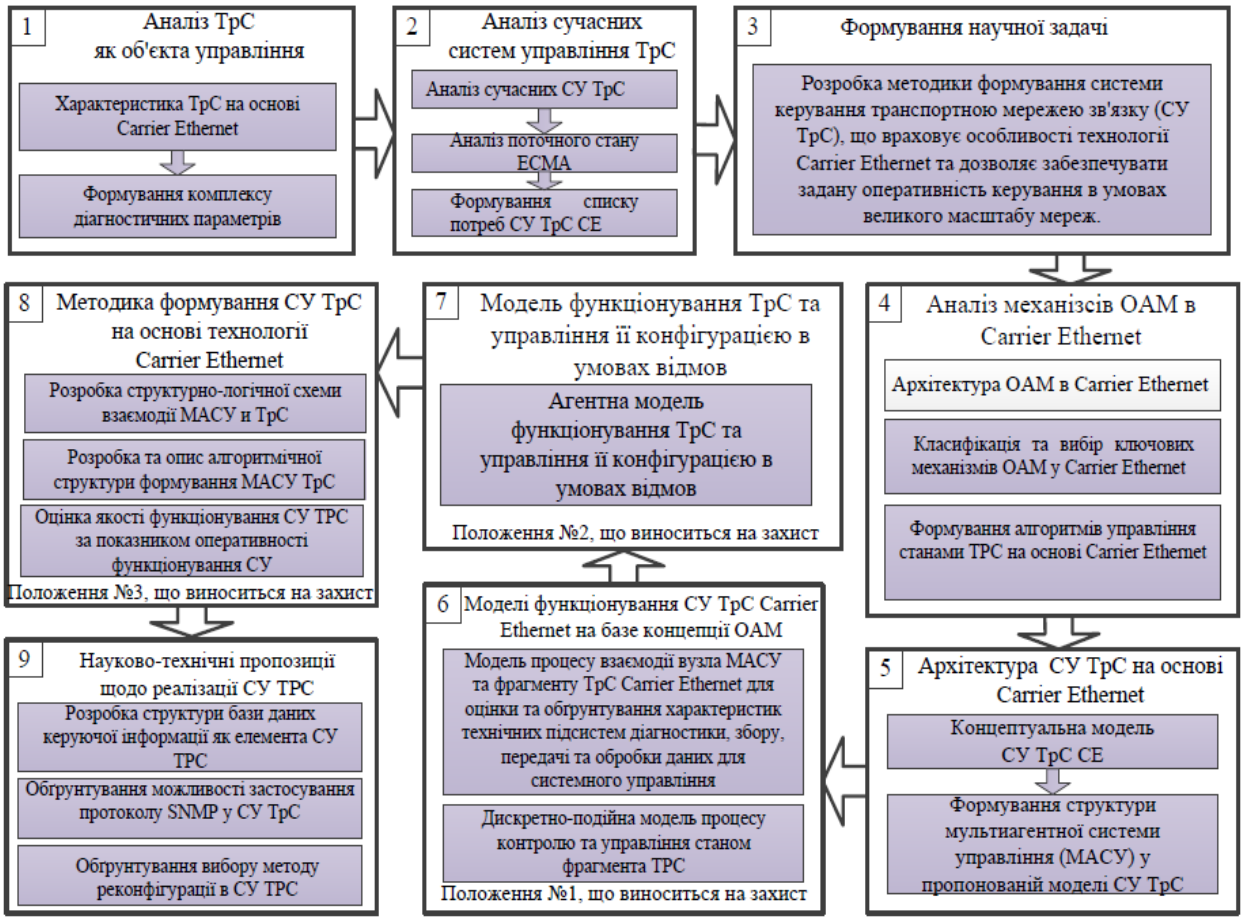


Рисунок 1.4 – Структурно-логічна схема наукового дослідження

1.6 Висновки по розділу

В розділі проведено аналіз підходів до побудови систем управління транспортними мережами зв'язку

1. Здійснено аналіз та класифікацію основних видів систем управління типовими транспортними мережами зв'язку. Вати значені їх недоліки та переваги.

2. Проведено аналіз основних властивостей систем управління транспортною мережею зв’язку. Визначено ті з них, які суттєво впливають на якість функціонування системи управління.

3. Подано результати аналізу архітектури системи управління типовою транспортною мережею зв’язку. Визначені її особливості та перспективні напрямки удосконалення з врахуванням сучасних вимог.

4. Розглянуть особливості та обґрунтовано використання технології Carrier Ethernet для побудови перспективної системи управління транспортною мережею зв’язку

5. Визначені наукові завдання, вирішення яких дозволяє досягнути мети дисертаційної роботи.

РОЗДІЛ 2.
МОДЕЛЬ ПРОЦЕСІВ ВЗАЄМОДІЇ ФРАГМЕНТІВ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ ТА МУЛЬТИАГЕНТНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНОЮ МЕРЕЖЕЮ ЗВ'ЯЗКУ

2.1 Мультиагентна модель системи управління транспортною мережею зв'язку

Транспортна мережа зв'язку забезпечує переніс різноманітного трафіку між мережами доступу, що охоплюють магістральні вузли, міжнародні станції передачі даних, канали, що їх з'єднують і національні вузли обробки та передачі даних.

Для управління транспортною мережею зв'язку (ТМЗ) вирішення завдань швидкодії, ефективності та надійності неможливо без створення та розробки ефективної системи управління (СУ) ТМЗ, що дозволяє підтримувати на заданому рівні мережеві ресурси, необхідні надання якісних послуг зв'язку.

Управління мережами зв'язку, що працюють на базі нових технологій, неможливе без модернізації існуючої СУ шляхом розробки модулів мережевого управління, які дозволять реалізувати всі можливості транспортної мережі зв'язку на базі пакетних технологій.

Принцип управління будь-якою мережею зв'язку полягає в взаємодії ключових блоків управління підтримки готовності мережі зв'язку, вироблення процесів управління і керівництво ними під час виконання поставлених завдань[1,3,7].

Одним із аспектів досягнення мети управління полягає у забезпеченні використання всіх функцій мереж зв'язку при вирішенні поставлених завдань. Досягнення цієї мети пов'язане з вирішенням низки завдань, основними з яких є: збирання, обробка та аналіз даних стану мережі; підготовка та прийняття рішень для усунення відмов та несправностей; розробка документів; доведення завдань до виконавців; організація та

підтримання взаємодії підсистем; організація управління під час виконання завдань; резервування та контроль роботи підсистем [1,3,5].

Основним показником якості функціонування СУ ТМЗ є оперативність прийняття управлінських рішень щодо стану ТМЗ в умовах високої динаміки зміни станів ТМЗ. Серед множини різних факторів, що можуть вплинути на вказану оперативність можемо виділити ряд факторів, пов'язаних з необхідність формувати велику множину рішень для зміни конфігурацій окремих маршрутів, фрагментів та всієї ТМЗ в залежності від стану окремих вузлів при умові узгодження оптимального варіанту з особою, яка приймає рішення, що, по суті є достатньо складним організаційним процесом, пов'язаним з можливістю використання елементів штучного інтелекту [1-3,5].

В даний час, при розробці нових принципів та способів управління складними процесами знайшли широке застосування мультагентні технології – технології розробок і застосування мультиагентних систем – складних систем, що функціонують за допомогою кількох інтелектуальних агентів, процес самоорганізації яких зводиться до узгодженості, упорядкованості, взаємодії агентів між собою [4,16,21,22]. Застосування такого підходу дозволить крім рішення завдання по вибору оптимально варіанту управління по зміні конфігурації маршрутів передачі даних попередньо оцінити тривалість циклу управління, що формується системою а також, через застосування ієрархічного підходу до побудови СУ ТМЗ з застосуванням мультиагентних технологій управляти станом ТМЗ на технологічному та більш високому оперативно-технічному рівні [16,17,23-25].

Очевидно що застосування мультиагентних технологій при розробці СУ ТМЗ дозволять значно підвищити ефективність її функціонування та безпосередньо підвищити показники оперативності прийняття рішень щодо управління потоками даних в умовах швидкої динаміки змін стану окремих мережених елементів ТМЗ.

В свою чергу, етапу створення СУ ТМЗ на основі мультагентних технологій, а саме мультиагентної системи управління (МАСУ) передує етап розробки структурної схеми вказаної МАСУ.

Зростаюче різноманіття типів ТМЗ, збільшення різнорідності їх складових елементів та кількості параметрів, що характеризують стан цих елементів викликає розширення спектру підходів до управління ТМЗ. Особливо це важливо при вирішенні завдань експлуатації та оперативно-технічного управління транспортною мережею зв’язку. Одним з підходів до підвищення ефективності роботи ТМЗ є удосконалення та підвищення ефективності функціонування її СУ. Виходячи з завдання по підвищенню оперативності реагування СУ на зміну станів мережених елементів одним зшляхів підвищення вказаної оперативності є створення СУ на основі мультиагентних технологій з застосування технології CARRIER ETHERNET. Вирішення вказаного завдання на першому етапі, передбачає розробку структури мультиагентної системи управлянні транспортними мережами зв’язку.

Мета функціонування перспективної СУ ТМЗ полягає в забезпеченні потрібної оперативності функціонування ТМЗ при своєчасному і обґрунтованому формуванні рішень по управлінню ТМЗ в умовах високої динаміки зміни стану ТМЗ та з врахуванням особливостей технології CARRIER ETHERNET.

Запропонована концептуальна модель СУ ТМЗ повинна мати ряд відмінних особливостей і можливостей. А саме [6,16,22]:

- наявність інформаційних зв’язків між складовими ТМЗ;
- перехід системи в новий стан при зміні зовнішніх впливів;
- можливість визначення цілей управління;
- наявність МАСУ, яка дозволяє при наявності блоку керування конфігураціями формувати множину рішень для змін конфігурації окремих маршрутів, фрагментів та всієї ТМЗ а вибір найбільш оптимальних узгоджується з особою, що приймає рішення;

- можливість вибору прийнятного процесу контролю і управління станом елементів об’єкту управління;

- попередня оцінка тривалості циклу управління, яка формується МАСУ та узгоджується з особою, що приймає рішення;

- розподіл МАСУ по різним рівням побудови СУ дозволяє контролювати та керувати станом окремих елементів на різних рівнях.

З метою забезпечення високої оперативності функціонування та забезпечення високої якості виконання завдань СУ ТМЗ розділимо на три рівня [4,16,19].

1. Рівень організаційного управління – забезпечення опрацювання рішень щодо довгострокового планування управлінням ТМЗ. На цьому рівні необхідна наявність бази даних, завдання якої – забезпечення особи, що приймає рішення, необхідною інформацією про стан СУ ТМЗ в кожен момент часу.

2. Рівень оперативно-технічного управління – забезпечення масиву механізмів управління, вузлів управління і готових управлінських рішень, що об’єднуються в план заходів по реконфігурації ТМЗ. Для цього на вказаному рівні необхідно мати [6,16,27]:

- підсистему контролю, адміністрування та управління;

- підсистему формування пов’язаних маршрутів;

- підсистема визначення механізмів управління в складі загального процесу управління;

- підсистема формування реконфігурації ТМЗ.

3. Технологічний рівень – забезпечення збору експлуатаційних характеристик ТМЗ та їх обробка; автоматичне управління станом технічних засобів ТМЗ; вибір процесу управління, який визначається визначеним на вищому рівні механізмом управління; реалізація плану заходів по реконфігурації ТМЗ. Для виконання вище поданих завдань на технологічному рівні управління необхідно мати підсистему збору інформації, підсистему контролю і управління станом елементів та вузлів

ТМЗ, підсистему реалізації плану реконфігурації ТМЗ [20,21,29.30].

Схематично визначені рівні МАСУ та їх взаємозв’язок подано на Рис. 2.1

Створення МАСУ завдяки особливостям та можливостям мультиагентних технологій підвищує самостійність та адаптивність одиниць управління по ходу процесу управління.

Виділимо дві властивості МАСУ, що забезпечують досягнення вище поданих якостей системи. А саме: паралельність процесів контролю, діагностики і управління мереженими елементами на виділених фрагментах ТМЗ; скорочення часу збору даних управління [16,25,27,30].

Врахування вказаних властивостей вимагає здійснити побудову структури МАСУ в складі наступних функціональних блоків:

- блок збору та обробки даних – виконує функцію управління станом елементів ТМЗ і їх параметрами;

- блок оцінки станів – виконує функцію аналізу отриманих даних;

- блок реконфігурації – виконує функцію формування нових структур ТМЗ в вигляді передбачуваного набору рішень, які забезпечують оптимальність фрагментації ТМЗ.

Запропонований вище перелік функціональних блоків дозволяє побудувати МАСУ, об’єктом управління якої буде ТМЗ, що побудована на основі технологій CARRIER ETHERNET, а в якості агентів МАСУ приймемо інформаційні відображення стану елементів ТМЗ. Їх поведінку необхідно задати алгоритмічно для забезпечення сумісного досягнення цільової функції.

Сформована на основі вище заданих властивостей та запропонованих функціональних блоків структура МАСУ подана на рис. 2.1

Відповідно до структури, перспективної мультиагентної системи управління, представленої на Рис. 2.2, взаємодія МАСУ і ТМЗ відбувається за допомогою керованих агентів [16].

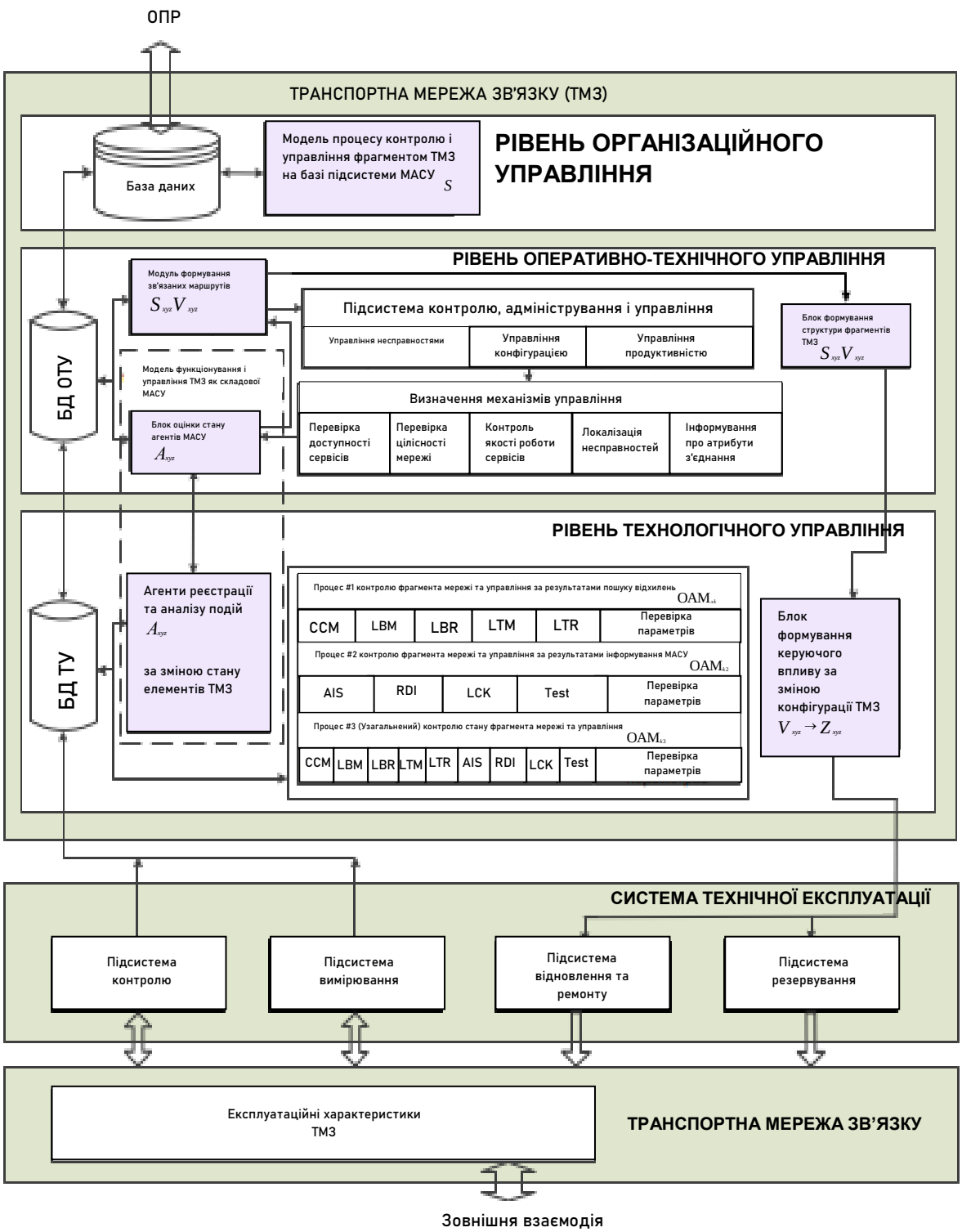


Рис.2.1. Концептуальна модель СУ ТМЗ

Ці агенти виконують функції збору даних і взаємодії з елементами ТМЗ (A_{REG}), а також в структурі МАСУ є блоки для збору даних і взаємодії один між одним (A_{STATE} та A_{STR}). Ці дані в подальшому використовуються для

формування фрагмента структури ТМЗ при обчисленні цільової функції (ЦФ) мультиагентної спільноти [16,20,21].

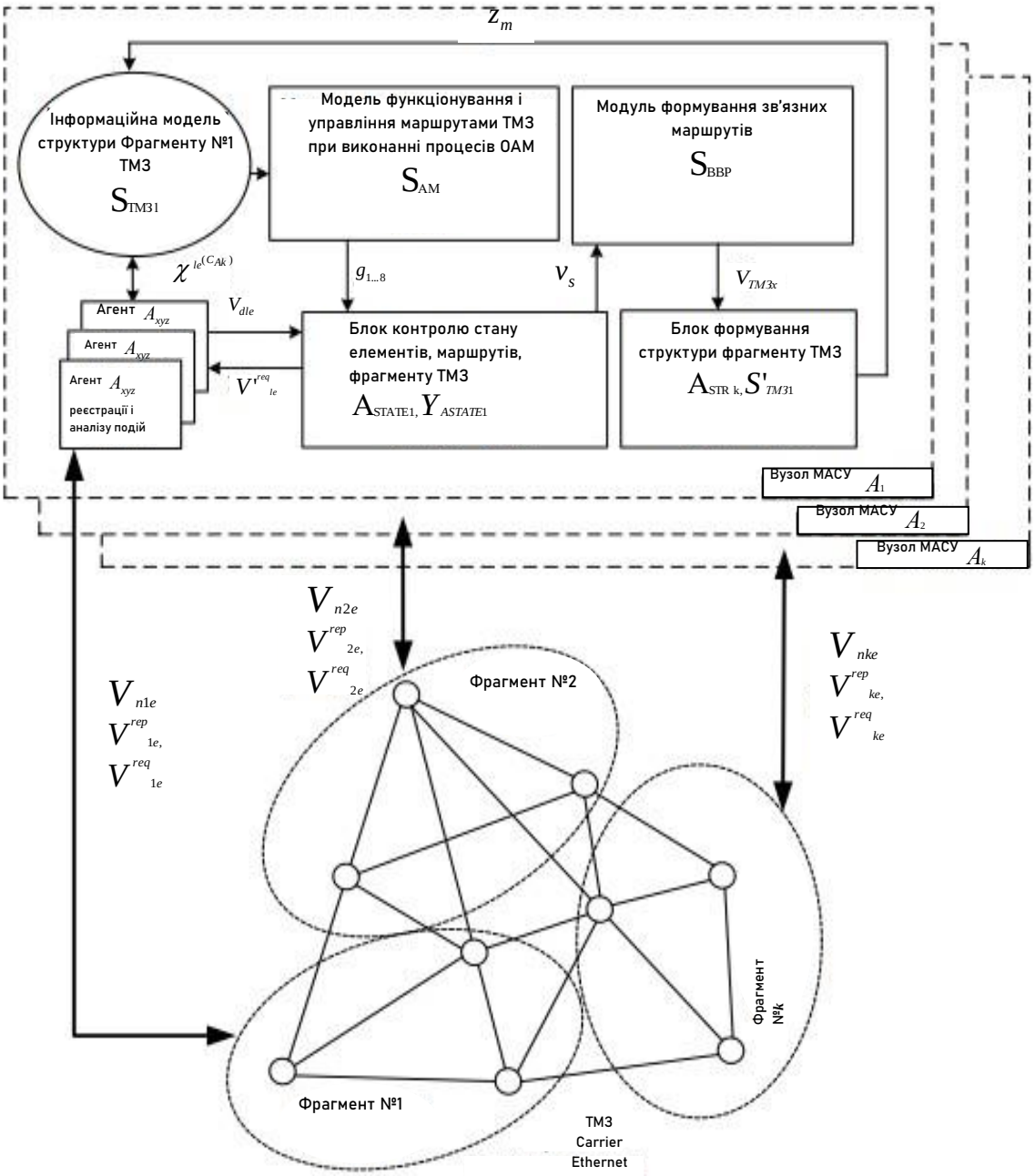


Рис. 2.2 Структура мультиагентної системи управління транспортною мережею зв’язку Carrier Ethernet

Актуальною є оцінка величини тривалості циклу управління станом мережевих елементів. Для цього зручно скористатися алгоритмами послідовного оцінювання. Найбільш підходящим з таких видів алгоритмів з точки зору обчислювальної складності, точності і швидкості отриманих результатів є алгоритм Роббінсон-Монро [16,32,33].

2.2. Розробка моделі процесу взаємодії фрагмента транспортної мережі зв'язку і вузла мультиагентної системи управління

Відповідно до структури, перспективної мультиагентной системи управління, представленої на Рис. 2.2, взаємодія масу і ТМЗ відбувається за допомогою керованих агентів. Ці агенти виконують функції збору даних і взаємодії з елементами ТМЗ (A_{REG}), а також в структурі масу є блоки для збору даних і взаємодії один між одним (A_{STATE} та A_{STR}). Ці дані в подальшому використовуються для формування фрагмента структури ТМЗ при обчисленні цільової функції (ЦФ) мультиагентного спільноти [25,37,38].

В рамках даної роботи актуальною є оцінка величини тривалості циклу управління станом мережевих елементів. Для цього зручно скористатися алгоритмами послідовного оцінювання. Найбільш підходящим з таких видів алгоритмів з точки зору обчислювальної складності, точності і швидкості отриманих результатів є алгоритм Роббінсон-Монро [36,37,39].

Розглянемо процес взаємодії агента МАСУ і елемента ТМЗ в процесі управління. Схема такої взаємодії приведена на Рис. 2.3. На ТМЗ виділяється ресурс з пропускними здатностями ребер ω_{ij} для передачі інформації контролю та управління між елементом ТМЗ і відповідними агентами МАСУ. При цьому агент є інформаційним відображенням елемента ТМЗ в МАСУ [32,38,40].

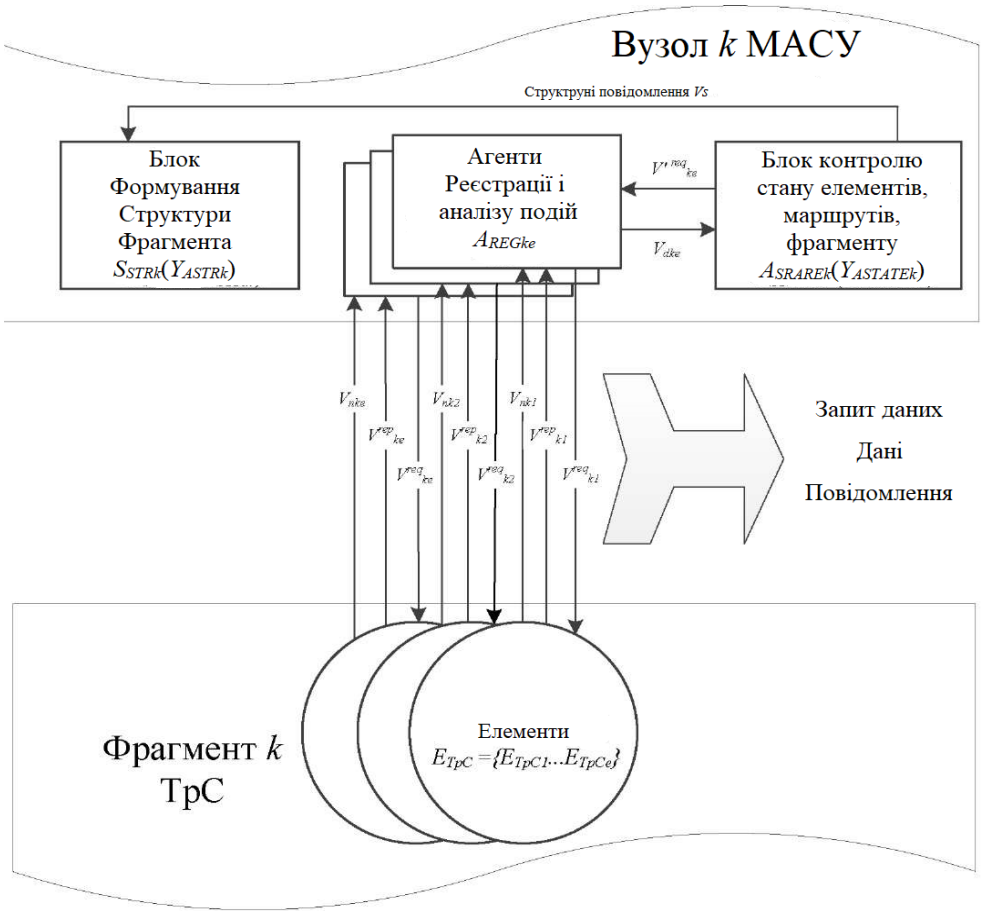


Рисунок 2.3 - Потоки даних між агентом в вузлі МАСУ і елементом ТМЗ в процесі управління

В процесі виконання управління можна виділити наступні типи переданих даних при зовнішньому взаємодії агентів МАСУ і елементів ТМЗ [27,40]:

- опитування агентом реєстрації та аналізу подій (A_{REGi}) значень параметрів елемента і подальшому відповіді елемента. Цей обсяг даних буде позначатися V_p. А частота, з якою проводиться операція v_p. Згідно зі схемою взаємодії (див. Рис. 2.1), обсяг даних при опитуванні параметра складається із запиту і відповіді. А це означає, що:

$$V_p = V_p^{req} + V_p^{rep} \tag{2.1}$$

- запити на виконання команд управління агентом A_{REGi} – LBM і LTM, а також подальша передача даних про застосування цих команд на фрагменті

ТМЗ - LBR і LTR. Позначимо ці команди - OAM, так як вони реалізовані механізмами OAM Carrier Ethernet. Обсяги цих запитів і частоти передачі даних представлені в Таблиці 2.1, а весь обсяг переданих даних при виконанні команд управління буде визначатися виразом:

$$V_{OAM} = V_{OAM}^{req} + V_{OAM}^{rep} \quad (2.2)$$

- повідомлення (без попереднього опитування) елементом ТМЗ агента. Сюди можна додати також повідомлення про індикації аварії, що надходить від елемента фрагмента ТМЗ - AIS. Цей обсяг даних буде позначатися V_n . А частота, з якою проводиться дана операція v_n.

Варто відзначити те, що керуючі агенти взаємодіють з іншими блоками управління МАСУ, організовуючи тим самим внутрішня взаємодія. Припустимо і обмежимося тим, що єдиним можливим видом взаємодії між блоками управління і агентами виступають типи повідомлень «запит», «дані» і «повідомлення». Тоді можна виділити типи переданих повідомлень між керуючими агентами [40-42]:

- опитування (на вимогу) блоком оцінки стану (A_{STATE}) агента реєстрації та аналізу (A_{REG}) про стан деякого елемента, який знаходиться в підпорядкуванні даного фрагмента мережі. В цьому випадку, обсяг і частота переданого повідомлення будуть позначатися V_p' і v_p' відповідно. Згідно схемою взаємодії (див. рис. 2.1), обсяг даних при опитуванні агента складається із запиту і відповіді (див. табл. 2.2). А це означає, що:

$$V_p' = V_p'^{req} = V_p'^{rep} \quad (2.3)$$

- дані, одержувані блоком A_{STATE} про повідомлення елемента ТМЗ, зокрема різного роду аварії і інформація про перевірку зв'язності маршрутів (наприклад, термінація CCM) (див. табл. 2.1) [37,38];

- повідомлення (без попереднього опитування) блоку формуванняструктури (A_{STR}) про появу структурних змін фрагмента ТМЗ. Позначимо цей обсяг даних і частоту їх передачі змінними V_S і v_s (див. табл. 2.2).

Таблиця 2.1

Параметри зовнішніх повідомлень агента масу

Тип повідомлення	Передані дані управління	Об'єм даних при опитуванні	Частота запиту(v) або час передачі даних(T)
Запит	Команда управління ОАМ	V_{OAM}^{req}	v^{OAM}
	Параметри елементу	V_p^{req}	v^p
Дані	Команди управління ОАМ	V_{OAM}^{rep}	T^{OAM}
	Параметри елементу	V_p^{rep}	T^p
Сповіщення елементу	Індикація аварії ОАМ	V_n	v^n

Таблиця 2.2

Параметри внутрішніх повідомлень агента МАСУ

Тип повідомлення	Передані дані управління	Об'єм даних при опитуванні	Частота запиту(v) або час передачі даних(T)
Дані	Параметри елемента	$V_p^{'rep}$	T'^p
	Індикація Аварії ОАМ() Команда управління ОАМ()	V_d	v^d
Сповіщенна про структурні зміни	Аварія/оцінка маршрутів і т.д.	V_s	v^s

Якщо врахувати, що процес формування варіанти вирішення запускається всередині блоку A_{STR}, то ключовим для результуючого часу прийняття рішення буде час збору інформації про стан елементів ТМЗ агентами A_{REG}, опитування блоком A_{STATE} і повідомлень блоку A_{STR}.

Таким чином, безліч всіх повідомлень вузла A_i МАСУ можна розділити на безліч зовнішніх повідомлень, які отримують агенти A_{REG}елемента ТМЗ, і внутрішніх повідомлень, якими обмінюються блоки управління поточного вузла масу. Сумарний час прийняття рішення блоком A_{STRi} буде складатися з того часу, яке агенти вузла витратили на отримання та на передачу внутрішніх і зовнішніх повідомлень. Позначивши безліч повідомлень як C,

сумарний час обробки повідомлень блоком A_{STRi} буде визначатися таким виразом, яке буде визначати значення ЦФ:

$$T_{A_{STRi}} = T\left(C_{A_i}^{\text{зовн}}\right) + T(C_{A_i}^{\text{внут}}) \tag{2.4}$$

Розкриємо кожний доданок цього виразу. Всі безліч зовнішніх повідомлень встановлюється таким безліччю повідомлень, які агенти отримують в результаті запитів до параметрів елемента ТМЗ і запитів на виконання команд контролю і управління відмовами (ОАМ), а також безліччю повідомлень від елемента ТМЗ. Тоді час обробки зовнішніх повідомлень вузла A_i МАСУ визначається виразом:

$$T\left(C_{A_i}^{\text{зовн}}\right) = T\left(C_{A_{REGi}}^{\text{зовн_р}}\right) + T\left(C_{A_{REGi}}^{\text{зовн_}n}\right) + T(C_{A_{REGi}}^{\text{зовн_ОАМ}}) \tag{2.5}$$

Припустимо, що деякий параметр j елемента e_i запитується з середньою частотою $v_l^{p_j}$, а час передачі даних від елемента до керуючого A_{REG} агента - $T_l^{p_j}$. Будемо мати на увазі, що команди ОАМ передаються між елементами ТМЗ і агентами масу по каналах «запит даних» $T_l^{p_j}$, «дані» і «повідомлення» (див. Рис. 2.1) [42,43].

Припустимо то, що задана ТМЗ, яка складається з E елементів, а керуюча система складається з A вузлів агентів. Позначимо кількість діагностованих параметрів властивих елементу $e_l - P(e_l)$. Кількість повідомлень від цього елемента $N(e_l)$. Кількість команд управління ОАМ цього елемента - $M(e_l)$. Кількість елементів, що входять у фрагмент ТМЗ підуправлінням вузла МАСУ $A_i - E(A_i)$. Як правило, команди управління ОАМ застосовуються до маршрутів виділеного фрагмента мережі, а значить, кількістьтаких команд (запитів на виконання команд) буде менше, ніж кількістьсамих елементів фрагмента ТМЗ. На етапі планування моделювання процесів взаємодії складно передбачити співвідношення кількості фрагментів, маршрутів і елементів розглянутої мережі. Тому в розрахунках допускається виконання механізмів ОАМ щодо кожного елемента, а не маршруту.

Це дозволить при розрахунках отримати верхню межу ЦФ, відповідний укрупненої оцінки часу обробки повідомлень при взаємодії ТМЗ і МАСУ [43,44]. Кожен вузол масу управляє фрагментом ТМЗ, що містить кілька мережевих елементів. Швидкість передачі даних між вузлом агента A_i і елементом e_l встановлюється значенням мінімальної пропускної здатності $\omega(A_i, e_i) = \min_{\omega_i \in \{A_i, e_i\}} \omega_i$. Частота запитів агента вузла A_i до j-му параметру елемента - $e_i - v_{il}^{pj}$. Обсяг такого запиту – V_l^{pjreq}. Обсяг відповіді на цей запит - V_l^{pjrep}. Предикат $[Bel(A_i, p_{lj})]$ буде говорити про те, що звернення агента A_i до j-му параметру елемента має місце бути. Предикат приймає 1 в разі істини, і 0 - в іншому випадку. Максимальний час, що витрачається агентом на отримання параметрів, буде визначатися виразом:

$$T_{\max}(C_{A_{REGi}}^{зовн_p} = \sum_{l=1}^{E(A_i)} \sum_{j=1}^{P(e_l)} \left(\frac{v_{il}^{p_j} \cdot (V_l^{p_{jreq}} + V_l^{p_{jrep}})}{\omega(A_i, e_l)} + \frac{1}{v_{il}^{p_j}} \right) \cdot [Bel_{PAR}(A_i, p_{l_j})] \quad (2.6)$$

де $v_{il}^{p_j}$ - частота опитування деякого j-го параметра елемента .

Предикат приймає значення одиниці в разі, якщо агент A_i і-го вузла опитує j-й параметр елемента e_l, а в іншому випадку - нульове значення. У разі отримання повідомлення ініціатором взаємодії є елемент, і обсяг повідомлення, як правило, незмінний. У такому випадку час, що витрачається агентом на отримання повідомлень, буде визначатися виразом:

$$T(C_{A_{REGi}}^{зовн_n}) = \sum_{l=1}^{E(A_i)} \sum_{y=1}^{N(e_l)} \left(\frac{v_{il}^{n_y} \cdot V^n}{\omega(A_i, e_l)} \right) \cdot \left[Bel_{NOT}(A_i, n_{l_y}) \right] \quad (2.7)$$

де $v_{il}^{n_y}$- частота повідомлень.

Предикат приймає значення одиниці в разі, якщо агент A_iі-го вузла отримує повідомлення у елемента l, а в іншому випадку - нульове значення.

У разі запиту на виконання команд управління ОАМ ініціатором взаємодії буде агент реєстрації A_{REG}. Тоді час, що витрачається агентом на виконання команд управління ОАМ, буде визначатися виразом:

$$T_{max}\left(C_{A_{REGi}}^{\text{зовн_ОАМ}}\right) = \sum_{l=1}^{E(A_i)} \sum_{f=1}^{M(e_i)} \left(\frac{v_{il}^{OAM_f} \cdot \left(V_l^{OAM_{freq}} + V_l^{OAM_{frep}} \right)}{\omega(A_i, e_l)} + \frac{1}{v_{il}^{OAM_f}} \right) \cdot \left[Bel_{OAM}\left(A_i, m_{l_f}\right) \right] \quad (2.8)$$

де $v_{il}^{OAM_f}$ - частота запиту на виконання команди управління з номером f до елементу e_l, що належить вузлу МАСУ A_i.

Предикат приймає значення одиниці в разі, якщо агент A_i і-го вузла отримує дані команди управління з номером f елемента e_l а в іншому випадку - нульове значення. Для всіх агентів A_{REG}, керуючих елементами, загальний час обробки параметрів і повідомлень буде визначатися шляхом складання виразів (2.6), (2.7) і (2.8):

$$T_{max}\left(C_{A_i}^{\text{зовн}}\right) = T\left(C_{A_{REGi}}^{\text{зовн}_p}\right) + T\left(C_{A_{REGi}}^{\text{зовн}_n}\right) + T\left(C_{A_{REGi}}^{\text{зовн}_{OAM}}\right) =$$

$$= \sum_{l=1}^{E(A_i)} \begin{cases} \sum_{j=1}^{P(e_l)} \left(\frac{v_{il}^{p_j} \cdot (V_l^{p_{j_{req}}} + V_l^{p_{j_{rep}}})}{\omega(A_i, e_l)} + \frac{1}{v_{il}^{p_j}} \right) \cdot \left[Bel_{PAR}\left(A_i, p_{l_j}\right) \right] + \\ + \sum_{y=1}^{N(e_l)} \left(\frac{v_{il}^{n_y} \cdot V^n}{\omega(A_i, e_l)} \right) \cdot \left[Bel_{NOT}\left(A_i, n_{l_y}\right) \right] + \\ \sum_{f=1}^{M(e_l)} \left(\frac{v_{il}^{OAM_f} \cdot (V_l^{OAM_{freq}} + V_l^{OAM_{frep}}}{\omega(A_i, e_l)} + \frac{1}{v_{il}^{OAM_f}} \right) \cdot \left[Bel_{OAM}\left(A_i, m_{l_f}\right) \right] \end{cases} \quad (2.9)$$

Другий доданок виразу (2.4) показує час, необхідний системі для обробки всіх внутрішніх повідомлень вузла масу. Завдання внутрішнього взаємодії агентів включає формування запитів необхідних параметрів для оцінки стану (A_{STARE}) кожного елемента, що знаходиться в підпорядкуванні у даного вузла масу, а також інформування про виконання команд управління на фрагменті ТМЗ. Це необхідно для реалізації процесу контролю і управління відмовами на мережі і подальшого попередження блоку A_{STR} про зміни в структурі поточного фрагмента ТМЗ [43-46]. Тоді загальний час взаємодії між блоками і агентами всередині вузла масу буде визначатися за формулою:

$$T\left(C_{A_i}^{\text{внут}}\right) = T\left(C_{A_{STATEi}}^{\text{внут_p}}\right) + T\left(C_{A_{STATEi}}^{\text{внут_}d}\right) + T\left(C_{A_{STATEi}}^{\text{внут_}s}\right) \quad (2.10)$$

У даній роботі обрано схема внутрішньої взаємодії блоків управління і агентів з опитуванням стану і параметрів елемента [41-43]. Такий сценарій взаємодії дозволить підвищити «самостійність» як самих агентів, так і динамічність системи управління в цілому.

Час, необхідний блоку оцінки стану A_{STATE} для запиту деякого j-го параметра елемента, буде визначатися виразом:

$$T\left(C_{A_{STATEi}}^{\text{внут_}i}\right) = \sum_{l=1}^{E(A_i)} \sum_{j=1}^{P(e_l)} \left(\frac{v'^{p_j}_{il} \cdot V'^{p_{j_{req}}}_{l}}{\omega(A_{REGi}, e_l)} + \frac{1}{v'^{p_j}_{il}} \right) \cdot \left[Bel_{OUT}\left(A_{REGi}, p_{l_j}\right) \right] \quad (2.11)$$

Де $E(A_i)$ - кількість елементів, що знаходяться в підпорядкуванні вузла A_i;

$P(e_l)$- кількість параметрів елемента e_l;

$v'^{p_j}_{il}$- частота опитування агентом i-го вузла j-го параметра на елементі e_l.

Предикат приймає значення одиниці в разі, якщо агент A_{REG} i-го вузла запитує j-й параметр l-го елемента, а в іншому випадку - нульове значення.

Час, необхідний блоку A_{STATE} для отримання дубльованих повідомлень і переданих даних команд управління ОАМ деякого елемента e_b, буде визначатися виразом:

$$T\left(C_{A_{STATE}}^{\text{внут_}d}\right) = \sum_{l=1}^{E(A_i)} \sum_{x=1}^{D(E_l)} \left(\frac{v_{REGi}^{d_x} \cdot V^d}{\omega(A_{REGi}, A_{STATEi})} \right) \cdot \left[Bel_{OUT}(A_{REGi}, d_{lx}) \right] \quad (2.12)$$

де $D(e_l)$- кількість дубльованих повідомлень від елемента e_l;

$v_{REGi}^{d_x}$- частота переданого дубльованого повідомлення x від агента A_{REGi}.

Предикат приймає значення одиниці в разі, якщо агент A_{REG} i-го вузла дублює повідомлення елемента, а в іншому випадку - нульове значення.

Час, необхідний блоку A_{STATEi} для повідомлення блоку A_{STRi} про зміни в структурі фрагмента ТМЗ, буде визначатися виразом:

$$T\left(C_{A_{STATEi}}^{\text{внут_}s}\right) = \sum_{z=1}^{H(A_{STATEi})} \left(\frac{v_i^{s_z} \cdot V_i^s}{\omega(A_{STATEi}, A_{STRi})} \right) \cdot \left[Bel_{OUT}(A_{STATEi}, s_{iz}) \right] \quad (2.13)$$

де $H(A_{STATEi})$ - кількість повідомлень про зміну структури фрагмента ТКС вузла A_i;

$v_i^{S_z}$ - частота, з якою в i-тому вузлі блок A_{STATE} передає повідомлення S_z блоку A_{STRi} .

Предикат приймає значення одиниці в разі, якщо блок $A_{STATE\ i}$ i-го вузла передає повідомлення S_z, а в іншому випадку - нульове значення.

Перетворимо вираз (2.10) через вирази (2.11), (2.12) і (2.13):

$$T\left(C_{A_i}^{\text{внут}}\right) = T\left(C_{A_{STATEi}}^{\text{внут_}p}\right) + T\left(C_{A_{STATEi}}^{\text{внут_}d}\right) + T\left(C_{A_{STATEi}}^{\text{внут_}s}\right) =$$

$$= \sum_{l=1}^{E(A_i)} \begin{cases} \sum_{j=1}^{P(e_l)} \left(\frac{v'^{p_j}_{il} \cdot V'^{p_{j_{req}}}_{l}}{\omega(A_{REGi}, e_l} + \frac{1}{v'^{p_j}_{il}} \right) \cdot \left[Bel_{OUT}\left(A_{REGi}, p_{l_j}\right) \right] + \\ + \sum_{x=1}^{D(e_l)} \left(\frac{v_{REGi}^{d_x} \cdot V^d}{\omega(A_{REGi}, A_{STATEi}} \right) \cdot \left[Bel_{OUT}(A_{REGi}, d_{lx}) \right] + \end{cases} \tag{2.14}$$

$$+ \sum_{z=1}^{H(A_{STATEi})} \left(\frac{v_i^{S_z} \cdot V_i^s}{\omega(A_{STATEi}, A_{STRi}} \right) \cdot \left[Bel_{OUT}(A_{STATEi}, s_{iz}) \right]$$

Сумарне максимальне час (ЦФ) керує усіма повідомленнями агентів і блоків управління з безлічі A встановлюється виразом:

$$T_{max}(C) = \sum_{i=1}^{A} (T_{max}(C_{A_i}^{\text{внут}}) + T\left(C_{A_i}^{\text{внут}}\right) \tag{2.15}$$

Для розрахунку моделі розглянемо більш детально схему взаємодії. Фрагмент ТМЗ є групою елементів ТМЗ, що складається з 10 мережевих елементів. Фрагмент ТМЗ взаємодіє з вузлом МАСУ, який в свою чергу складається з трьох блоків (блок реєстрації та аналізу подій безпосередньо взаємодіє з елементами ТМЗ за допомогою агентів, блок оцінки стану входить в контур внутрішньої взаємодії та оцінює стан фрагмента ТМЗ при виявленні пошкоджень маршрутів і блок формування структури на підставі

вхідних даних вузла масу виробляє рішення для зміни структури об'єкта управління).

Повідомлення, які виникають при взаємодії фрагмента ТМЗ і вузла МАСУ, можна класифікувати відповідно до повідомлень, описаними в таблицях 2.1 і 2.2. Такими повідомленнями є:

- прямі запити на параметри елементів фрагмента ТМЗ. У цьому випадку одержувач (елемент ТМЗ) відправляє у відповідь повідомлення з даними параметрів по каналу зворотного зв'язку;

- повідомлення елементу про аварійний стан входять в контур контролю та управління несправностями фрагмента ТМЗ;

- непрямі запити на параметри елементів фрагмента ТМЗ. У цьому випадку агент реєстрації та аналізу подій буде дублювати необхідні для агента оцінки стану повідомлення;

- запити на виконання команд OAM. Входять як в контур зовнішнього управління, так і частково в контур внутрішнього управління вузла МАСУ. Такі запити також вимагають відповідного повідомлення від одержувача;

- повідомлення про структурні зміни входять в контур внутрішнього управління вузла МАСУ.

Варіант вихідних даних для фрагмента мережі Carrier Ethernet при моделюванні процесів взаємодії МАСУ і ТМЗ показаний в таблиці 2.3.

Відповідно до представленої класифікацією повідомлень (див. Табл. 3.1 і 3.2) і сформованої схемою взаємодії (див. Рис. 3.1) отримані дані для розрахунку цільової функції, представлені в таблиці 3.4:

Припустимо, що в розглянутих схемою взаємодії (див. Рис. 2.1) одночасно існують всі типи повідомлень. Тоді значення предикатів, що входить у вираз цільової функції, будуть приймати значення одиниці. Таким чином, розглядається оцінка часу, яка керує усіма повідомленнями, що передаються між фрагментом ТМЗ і блоками управління МАСУ, при найгіршому випадку (тобто попередня укрупнена оцінка).

Таблиця 2.3

Варіант вихідних даних для фрагмента ТМЗ

Назва параметра	Середнє значення
Пропускна здатність каналів	100 Мбіт / с
Обсяг всіх переданого повідомлення	4 байта (32 біт)
Частота повідомлень (CCM)	$\nu_{соб} = 1\ с^{-1}$
Коефіцієнт використання ребер	КІ = 0,5
Час формування повідомлення	$T_{форм \cdot соб}$ не більше 20 мс
Затримка всередині комутатора	$t_{зк} = 5$ мс
кількість діагностованих параметрів одного елементу	10

Таблиця 2.4

Варіант вихідних даних для розрахунку ЦФ

Тип повідомлення	Кількість	Примітка
Загальна кількість запитів на виконання команд ОАМ	3	CCM, LBM, LTM
Внутрішніх повідомлень	1	за умови пошкодження одного маршруту
Зовнішні повідомлення	2	за умови пошкодження одного маршруту та / або індикації несправності
Дубльовані повідомлення від агента реєстрації	2	дані параметрів елементів - при умови справних маршрутів і LTR - за умови пошкодження одного маршруту
Кількість опитувань параметрів елементів	100	для розглянутого фрагмента ТМЗ

За підсумками проведених розрахунків по даній моделі була отримана первинна оцінка взаємодії елементів і агентів на підставі виконаних припущень [43-46].

Графік залежності на рис. 2.3 показують вплив частоти запитів команд ОАМ на тривалість циклу управління.

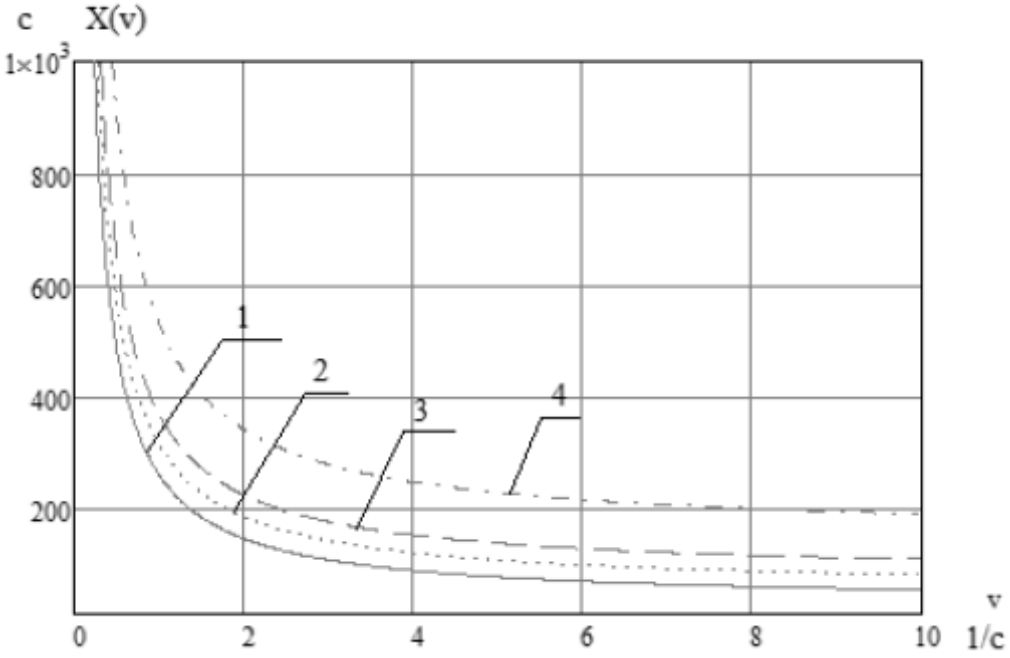


Рисунок 2.3. Час реалізації циклу управління $X\ (v)$ в залежності від частоти v посилки повідомлень (команди ОАМ): 1, 2, 3 - при виявленні одного, двох і трьох несправностей в маршруті відповідно; 4 - при виявленні шести несправностей в маршруті

Це дозволяє зробити наступні висновки: високе значення тривалості циклу управління простежується на невеликих частотах посилки повідомлення ССМ (що говорить про великий періоді між посилкою повідомлень). При значеннях частот понад 1-2 $с^{-1}$ тривалість циклу управління коливається в межах до 200 с. Варто відзначити те, що це значення досягається при кількості виявлених пошкоджень маршрутів, рівному декільком одиницям (графіки №№ 1, 2, і 3 на рис. 3.2). Графік №1 на рис. 2.2 ілюструє той же результат по тривалості циклу управління, але при виявленні 6 і вище пошкоджень в маршрутах і при частотах посилки повідомлення ССМ від 6 $с^{-1}$. Таким чином, вирішується завдання оптимального вибору періодичності посилки повідомлень тип запиту команд ОАМ, яку можна визначати щодо математичних очікувань інтенсивностей відмов.

Графік на рис. 2.4 показують залежність часу реалізації циклу управління від кількості вузлів в масу.

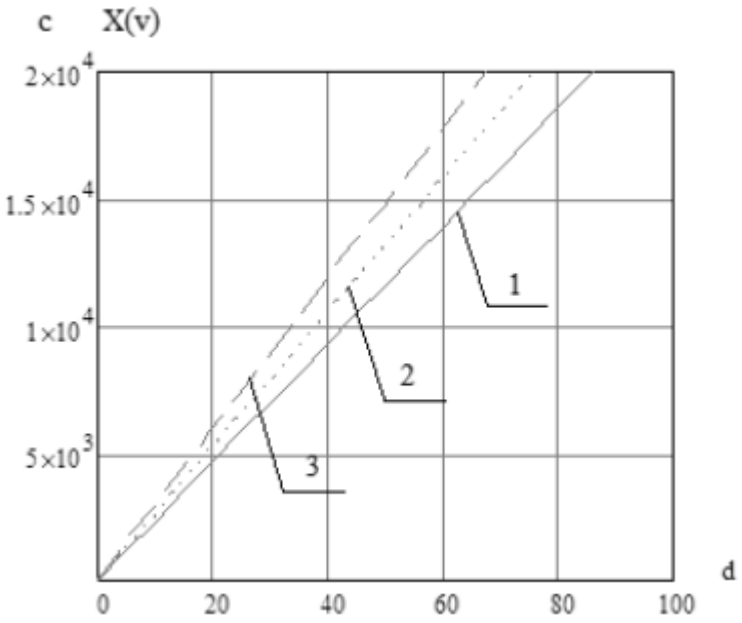


Рисунок 2.4.Час реалізації циклу управління *X (d)* в залежності від кількості вузлів d в масу: 1, 2, 3 - при виявленні одного, двох і трьох несправностей в маршруті відповідно

За графіками видно, що зі збільшенням кількості агентних вузлів в МАСУ сумарний час різко зростає від декількох хвилин до декількох годин. Це пов'язано зі збільшенням обсягу інформації, що передається, що припадає на один вузол керуючої системи. Отримана залежність дозволяє оцінювати необхідні тимчасові ресурси для управління мережею заданого масштабу, а також дозволяє коригувати тривалість циклу управління шляхом обґрунтованого вибору її обчислювальних ресурсів.

Залежність часу реалізації циклу управління від пропускної здатності каналів передачі повідомлень діагностики та управління показана на малюнку 2.5.

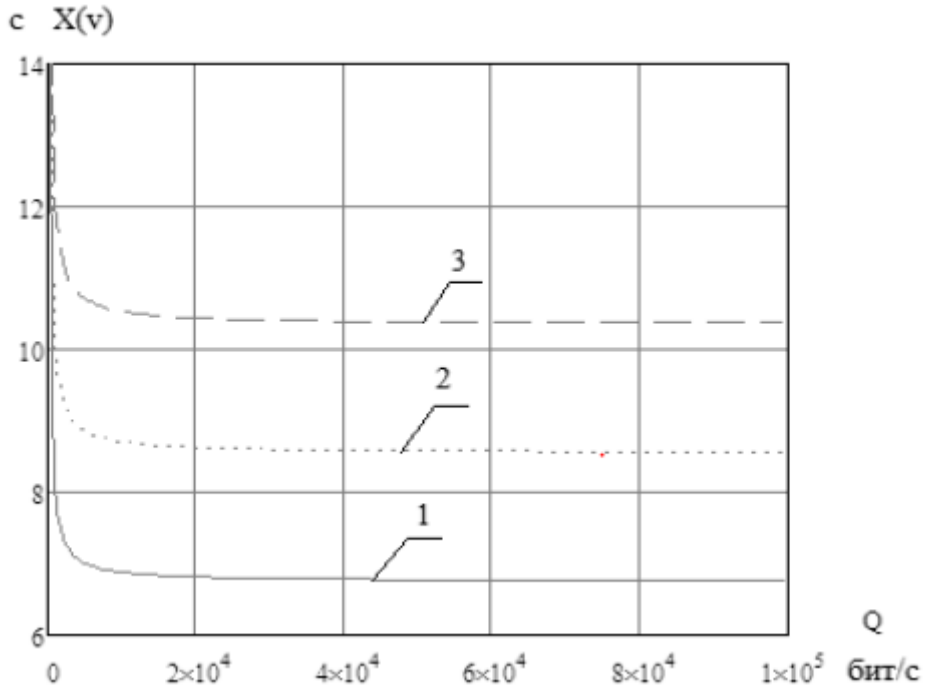


Рисунок 2.5. Час реалізації циклу управління $X\ (Q)$ в залежності від пропускної здатності каналів Q: 1, 2, 3 - при виявленні одного, двох і трьох несправностей в маршруті відповідно; 4 - при виявленні шести несправностей в маршруті

За більшої пропускної спроможності каналів сумарний час циклу управління зменшується, але в незначних межах відносно всієї мережі. Найбільш оптимальне значення пропускної здатності лежить в межах від 10 кбіт / с до 20 Кбіт / с, що відповідає значенню в межах 7 з по тривалості циклу управління. Отриманий результат дозволяє обґрунтовано вибирати діапазон значень пропускної здатності каналів відповідно до необхідного тимчасовим ресурсом по тривалості циклу управління.

Залежність, представлена на рис. 2.6, показує зростання тривалості циклу управління при збільшенні обсягу переданих даних. Таке зростання сумарного часу характеризує затримку пакетів в каналах передачі діагностичних даних і демонструє незначне збільшення сумарного часу, необхідного для обробки переданих повідомлень (на 0,2 с) при збільшенні одного пакета інформації до 10 байт.

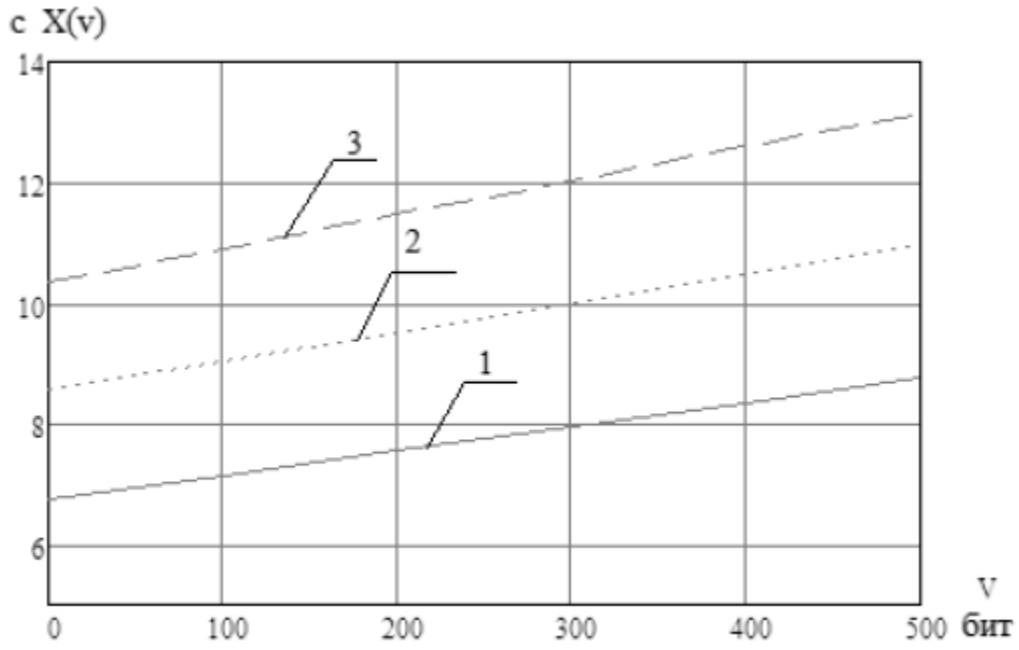


Рисунок 2.6 - Час реалізації циклу управління *X (V)* в залежності від обсягу V переданих даних: 1, 2, 3 - при виявленні одного, двох і трьох несправностей в маршруті відповідно; 4 - при виявленні шести несправностей в маршруті

2.3. Висновки по розділу

В розділі розроблено та подано модель процесів взаємодії фрагментів транспортної мережі зв’язку та мультиагентної моделі системи управління транспортною мережею зв’язку.

В якості цілі функціонування СУ ТМЗ визначено оперативність функціонування ТМЗ в умовах високої динаміки зміни станів з врахуванням особливостей СЕ.

2. Визначені особливості СУ ТМЗ та її можливості щодо функціонування за призначенням.

3. Подано трирівневу концептуальну модель системи управління ТМЗ з вказівкою ролі та місця МАСУ. Вказана модель визначає:

- рівень операційного управління;
- рівень оперативно-технічного управління;
- технологічний півень управління.

4. Розроблено модель процесу взаємодії фрагмента транспортної мережі зв’язку і вузла мультиагентної системи управління. Вказана модель дозволяє провести моделювання процесів управління між фрагментами ТМЗ та вузлом МАСУ.

Отримані результати моделювання дозволяють укрупнено оцінити час, що витрачається на обробку повідомлень у МАСУ, залежно від різних характеристик технічної підсистеми..

5. Результат, отриманий у ході моделювання взаємодії МАСУ та ТМЗ є вихідним для подальшого імітаційного моделювання процесів управління станом ТМЗ СЄ з метою оцінки тривалості всього циклу управління та відповідності даних показників необхідним навчанням. Також отриманий результат дозволяє розробити низку вимог для перспективної СУ ТМЗ для обґрунтованого вибору часу обробки повідомлень у рамках процесів контролю та управління станом мережевих елементів СЕ.

РОЗДІЛ 3.
МОДЕЛІ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНОЮ МЕРЕЖЕЮ ЗВ'ЯЗКУ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ CARRIER ETHERNET

3.1. Модель процесів контролю і управління фрагментом транспортної мережі зв'язку на основі підсистеми мультиагентної системи управління.

3.1.1. Опис модельованих процесів контролю і управління елементами ТМЗ.

Найбільш важливими завданнями для забезпечення сталого функціонування ТМЗ, які вимагають оперативного управління станом елементів, є завдання з виявлення несправностей в роботі маршрутів з наступною локалізацією. У розділі 1 дисертації розглянуті переваги і недоліки технології CE (табл. 1.1 і 1.3) і дана класифікація основних механізмів. Ґрунтуючись на цих даних, виділені два ключових процеси:

1. Процес контролю і управління елементами ТМЗ за результатами пошуку відхилень організується (OAM_{k1} см. Рис. 3.6) наступним чином. У разі, коли запит формується самої СУ запускається процес перевірки маршрутів на основі повідомлення CCM (Continuity Check Message). На кожен маршрут мережі відправляються повідомлення CCM з деякою тимчасовою періодичністю (від 0,1 до 10 с) [48]. Результат фіксується шляхом отримання даного повідомлення в кінці маршруту на пристрої кінцевого пристрою маршруту в даному домені (MEP - maintenance end point). Інформація про отримання передається керуючому агенту по каналу схеми взаємодії агента CE і елемента мережі [47,48]. Після цього за допомогою механізму, який ініціює посилку повідомлення для перевірки двобічної зв'язності маршруту ТМЗ (LBM - loopback message) і отримання відповідного повідомлення в разі справності

маршруту (LBR - loopback reply), а також за допомогою механізму локалізації несправності, ініціюючого посилку повідомлення повністю (LTM - linktrace message) для отримання подальшого відповіді повністю (LTR - linktrace reply), встановлюються всі несправні маршрути і елементи. При цьому один з трьох блоків управління в вузлі СУ на основі отриманих даних про параметри елементів виробляє варіанти рішення щодо реструктуризації фрагмента ТМЗ [47-49].

2. Процес контролю і управління елементами ТМЗ за результатами інформування МАСУ (OAM_{k2}) наступним чином. При зовнішньому запиті фрагмента ТМЗ, МАСУ отримує сигнальне повідомлення AIS (Automatic Indication Signal). Це такий режим роботи МАСУ, при якому встановлюється несправний маршрут і формується нова структура фрагмента мережі зі зміною таблиці маршрутів на підставі інформаційних даних елемента мережі. Ініціатором даного процесу є фрагмент мережі, що сигналізує про несправному стані маршруту з метою оперативного інформування про стан елемента мережі. Після оцінки технічного стану елементів несправного маршруту і в разі необхідності відновлення в маршруті запускається сигнал, який блокує індикацію несправного елемента LCK (Locked Signal). Після цього встановлюється місце несправності, проводиться реконфігурація фрагмента мережі і запускається процес відновлення несправності маршруту. Після установки справного стану маршруту запускається тестове повідомлення Test для контрольної перевірки [38,47].

Варто відзначити, можна вивчити поданий варіант формалізованого опису процесів моделювання, де описані етапи створення дискретно-подійної і агентной моделей, кожен з яких містить істотний і закінчений результат, що в свою чергу дозволяє використовувати приватні результати будь-якого етапу для вирішення завдань проектування або прогнозування процесів в перспективній МАСУ ТМЗ на основі технології СЕ [40,48,49].

3.1.2. Алгоритми на основі процесів контролю та управління елементами ТМЗ.

На основі сформованих процесів для управління елементами ТМЗ з використанням механізмів OAM для технології Carrier Ethernet побудовані алгоритми для кожного описаного процесу, представлені на малюнках 3.1 і 3.2 [38,48]. Особливістю алгоритму процесу OAM_{k1} є пошук несправностей в зв'язності маршрутів одночасно на декількох маршрутах і фрагментах ТМЗ, що дозволяє скоротити тривалість циклу виконуваного процесу. Крім того, алгоритм процесу, представленого на рис. 3.1 містить блоки, які передбачають імовірнісний характер появи подій, наприклад, блоки 4, 7 і 14 містять умови, виконання яких задається за допомогою функцій розподілу ймовірності вибору відповідного події. При цьому обидві події цих блоків можуть виконуватися паралельно, що також дозволяє скоротити тривалість циклу управління моделируемого процесу.

Алгоритм процесу OAM_{k2}, представленого на рис. 3.2 відрізняється джерелом запиту на його виконання - в даному випадку джерелом запиту є елемент ТМЗ. При цьому підпроцеси також виконуються паралельно.

Відповідно до розробленої концептуальної моделлю СУ ТМЗ (див. Рис. 2.3) вибір процесу контролю і управління станом ТМЗ здійснюється в масу на технологічному рівні в залежності від результатів роботи підсистем контролю та вимірювання СТЕ. При цьому модель процесів контролю і управління станом ТМЗ на організаційному рівні дозволяє отримати значення тривалості циклу обраного процесу (OAM_{kn}) для оцінки відповідності як потрібне тривалості циклу управління. При моделюванні процесу управління ТМЗ СЕ введені такі обмеження і допущення:

1. Функції розподілу випадкових величин відносяться до класу експоненційних;

2. Вірогідність, відповідні гілкам цепочечного алгоритму, визначаються статистичними методами;

3. Часи реалізації окремих блоків цепочечного алгоритму мають експоненційний розподіл;

4. Модель передбачає відсутність нових подій до закінчення обробки попереднього циклу;

5. Потоки подій не конкурують.

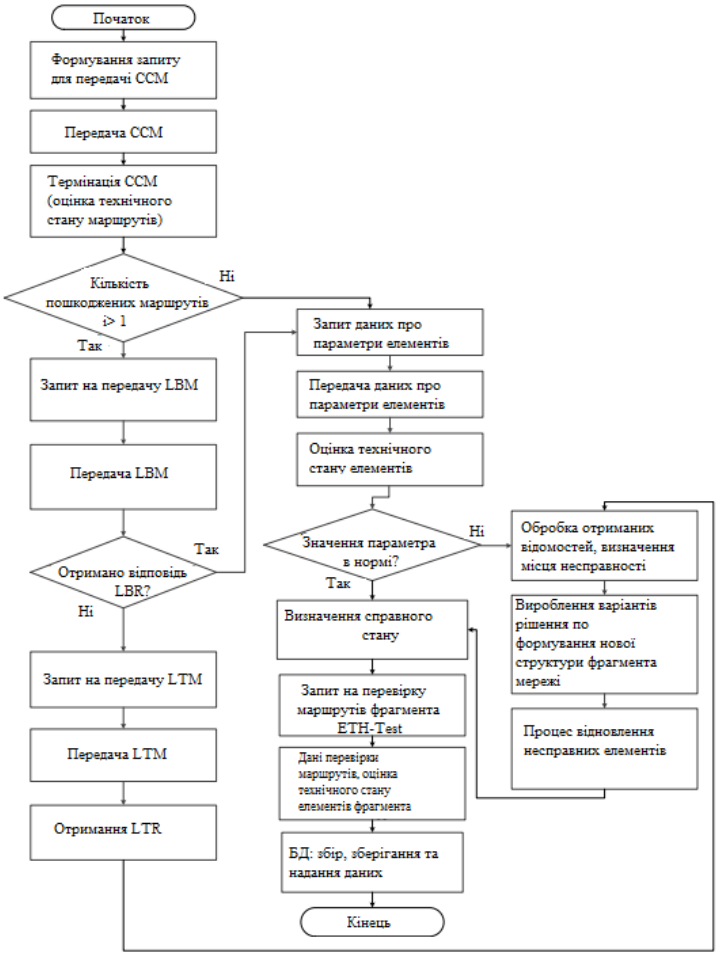


Рисунок 3.1. Алгоритм процесу OAM_{k1} контролю та управління станом елементів ТМЗ СЕ

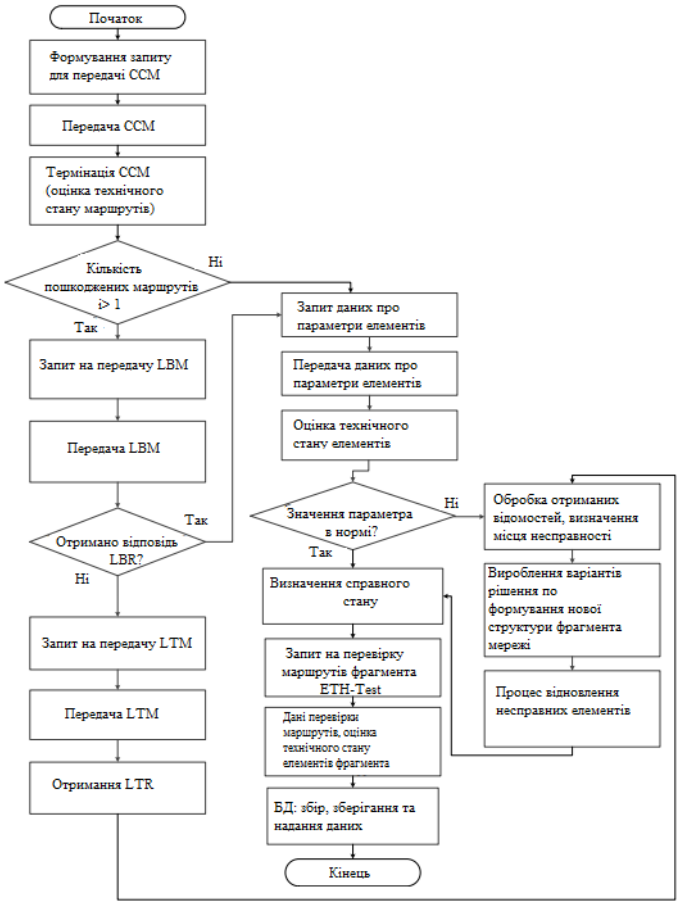


Рисунок 3.2. Алгоритм процесу OAM_{k2} контролю та управління станом елементів ТМЗ СЕ

3.1.3. Модель процесів контролю та управління елементами ТМЗ.

Розроблена модель процесів контролю та управління станом фрагмента ТМЗ [38, 49] є комп'ютерною програмою, написаною в середовищі моделювання AnyLogic. Імітаційний метод моделювання є отриманням приватних чисельних рішень сформульованої задачі за допомогою чисельних методів або на основі аналітичних рішень [50-54].

Кожен елемент мережі описується аналітично з використанням теорії масового обслуговування, що розглядає вхідні потоки запитів, черги, пристрої обслуговування, вихідні потоки опрацьованих запитів і т.д [53,54].

Оскільки МАСУ передбачає вибір під час виконання тієї чи іншої процесу ОАМ, то виконання моделювання алгоритми процесів, представлені на малюнках 3.1 і 3.2 були об'єднані в один процес, але з можливістю виділення як процесу, так підпроцесу. На рис. 3.3 представлений ланцюжок блоків, який моделює появу різного типу заявок відповідно до алгоритмів (повідомлення ССМ, пошук несправного елемента, запити на параметри та ін.). На табл. 3.1 представлені підпроцеси модельованих процесів.

Розглянемо кожен блок ланцюжка докладніше з деталізацією по функціям, що вирішуються [53-55]. Блок _1_ формує запиту, потім у блоці _0_ встановлюється джерело запиту. У разі внутрішнього запиту МАСУ (відповідає алгоритму на рис. 3.6) блоки з номерами _2_, _3_ та _4_ дозволяють оцінити час, необхідний пакету ССМ для перевірки маршрутів. Тобто ці блоки моделюють передачу повідомлення ССМ від агента A_{REGke} k −го вузла МАСУ до e-го елемента ТМЗ, проходження цього пакета маршрутами фрагмента ТМЗ і повернення пакета назад A_{REGke}. В агенті реєстрації можливі кілька варіантів роботи алгоритму:

1. Перевірка маршрутів пройшла успішно, і тоді блок _5_ із заданою ймовірністю відправляє повідомлення блоку _6_, який у свою чергу формує запити для перевірки параметрів елементів ТМЗ. Процеси проходження запиту по каналах зв'язку та отримання даних про запитуваних параметрів елементів імітують блоки _6_, _7_, _8_, _9_. Блок МАСУ оцінки стану (A_{STATEk}) порівнює отримані параметри з встановленими значеннями параметрів ($P`_{ETpCe} \equiv NP_{ETpCe}$). І якщо параметр елемента відповідає нормі, то агенту МАСУ відправляється повідомлення відповідного типу. Інакше, дані про всі параметри, що запитуються зберігаються в базі даних МАСУ.

2. Якщо в процесі проходження повідомлення ССМ маршрутами фрагмента ТМЗ було виявлено невідповідність (тобто один або кілька

маршрутів виявилися розірвані або виявлені незареєстровані маршрути тощо), то блок _11_ із заданою ймовірністю в блоці _5_е формує запити команд управління OAM. В першу чергу такими командами будуть повідомлення LBM для перевірки двонаправленої зв'язності маршрутів. Запит команди управління з повідомленням LTM буде відправлений у фрагмент ТМЗ тільки тоді і тільки на ті маршрути, які не мають двонаправленої зв'язності, що відповідає не отриманому повідомленню LBR. Повідомлення LTM під час проходження елементами маршруту на MEP змінює заголовок з адресою одержувача і повертається до джерела як повідомлення LTR. Таким чином команди управління OAM зможуть локалізувати місце несправності.

Якщо блок _0_ виявив зовнішній запит МАСУ від фрагмента ТМЗ (відповідає алгоритму на рис. 3.7), то блоках _20_, _21_, _22_ формуються повідомлення, що сигналізують аварійний стан. У МАСУ за допомогою блоків _23_, _24_, _25_ формується повідомлення про відмову відповідного маршруту.

Блок _26_ формує тривалість процесу оцінки стану маршрутів та всього вузла МАСУ, відповідних даному фрагменту ТМЗ. Якщо за результатами оцінки необхідно проводити відновлення конфігурації маршрутів і всього фрагмента ТМЗ (блок _27_), то в блоках _28_, _29_ і _30_ формується повідомлення про запуск процесу реконфігурації та сигнал, що блокує індикацію аварії що конфігурується на ділянці фрагмента ТМЗ,. Далі в блоках _31_, _32_ і _33_ формується тривалість процесів обробки даних про місце несправності та формування нової конфігурації фрагмента ТМЗ. Заключний етап процесу включає виконання підпроцесу на кроках _34_ - _39_ для контрольної перевірки конфігурованих маршрутів або відновленого маршруту.

Варіант вихідних даних представлений у табл. 3.2

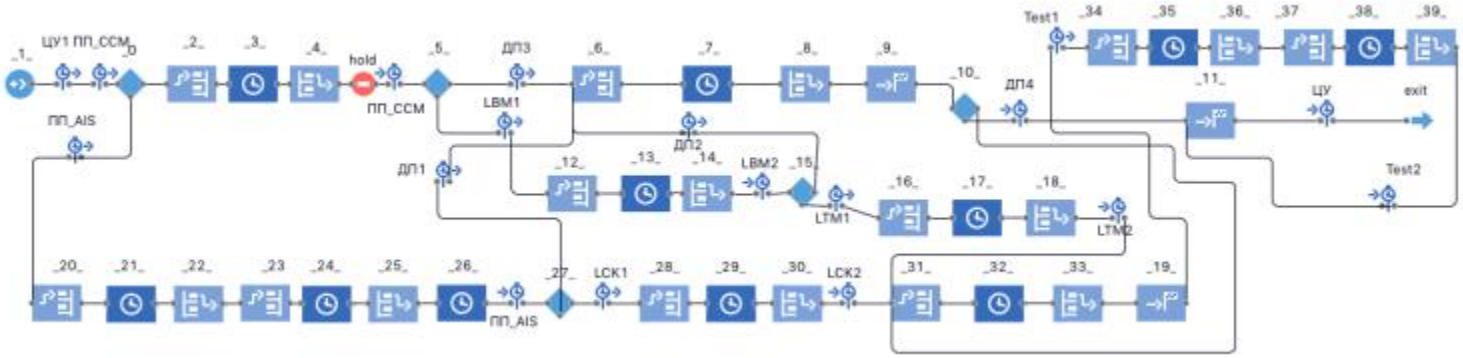


Рисунок 3.3. Модель процесів контролю та управління елементами ТМЗ у форматі середовища моделювання AnyLogic

Таблиця 3.1

Підпроцеси моделі

Номера блоків	Тип повідомлення	Опис підпроцесу	Назва підпроцесу
_2_..._4_	CCM	перевірка цілісності маршрутів	CCM
_12_..._15_	LBM/LTR	перевірка двунаправленості зв'язності	LB
_16_..._18_	LTM/LTR	локалізація несправностей	LT
_6_..._10_,_11_	Запити та дані	перевірка параметрів елементів мережі та передача інформації в БД	ДП
_10_..._26_	ETH-AIS	сигналізація аварійного стану елементу мережі, оцінка стану маршруту	AIS
_28_..._30_	ETH-LCK	блокування індикатору аварії на конфігуруючому фрагменті мережа	LCK
_34_..._39_	ETH-Test	контрольна перевірка параметрів та зв'язності маршруту	Test
_31_..._33_,_19_	Структурні повідомлення, запити	реконфігурація маршруту з використанням протоколу захисного переключення	STR

Таблиця 3.2

Вихідні дані моделювання

Параметр	Значення
Час формування повідомлення ($T_{ФС}$)	Експоненційне розподілення ($T_{ФС_{max}} = 50\ мс$)
Час періоду повідомлення ССМ ($\Delta T_{ССМ}$)	Нормальне розподілення ($\Delta T_{ССМ_{max}} = 10\ мс$)
Час прибуття повідомлення в черзі (W)	Постійна величина ($W_{max} = 300\ мс$)
Час затримки в комутаторі ($T_{ЗК}$)	Постійна величина ($T_{ЗК_{max}} = 5$ мс)

3.1.4. Опис моделювання процесів контролю та управління елементами ТМЗ.

Укрупнено процес моделювання можна у вигляді п'яти складових [51,54]:

1. Опис об'єктів;

2. Завдання функції розподілу часу перебування повідомлень (ССМ, LBM/LBR, LTM/LBR, запити та дані параметрів, повідомлення) у черзі (кожного блоку моделі);

3. Завдання функції розподілу часу формування повідомлень (ССМ, LBM/LBR, LTM/LBR, запити та дані параметрів, сповіщення).

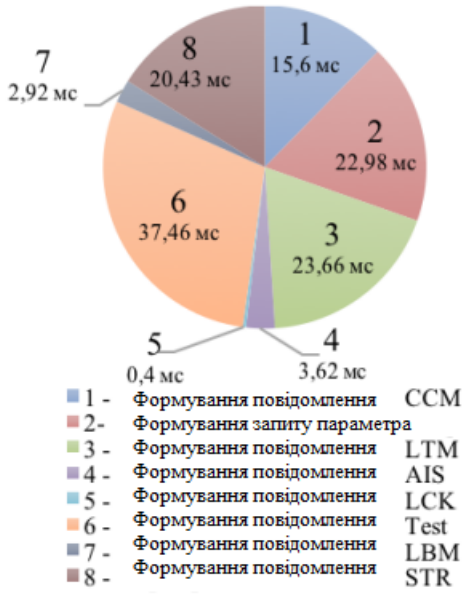
4. Завдання функції розподілу часу періоду надсилання повідомлення ССМ;

5. Отримання результатів моделювання у вигляді функції розподілу та щільності значень тривалості циклу управління, а також отримання імовірнісних характеристик (ВХ) підпроцесів при зміні та вплив різних характеристик підпроцесів окремо. На першому етапі встановлюється безліч підпроцесів моделі та безліч параметрів елементів ТМЗ, а також відповідні їм вихідні дані. Другий, третій та четвертий етапи мають на увазі отримання відповідних функцій розподілу для параметрів часу перебування у черзі (W), часу формування повідомлень ($T_{ФС}$) та часу періоду відправлення повідомлення ($\Delta T_{ССМ_{max}}$) Наведені параметри залежать від налаштувань і стану комутатора в

даний момент часу. В результаті моєделювання на п'ятому етапі стає можливим отримати результат для оцінки тривалості процесу контролю та управління станом елементів ТМЗ, а також його ВХ.

Варто зазначити, що результати моделювання з метою оцінки тривалості циклу управління актуальні щодо одного фрагмента мережі, що включає до 20 елементів ТМЗ [16,38,50].

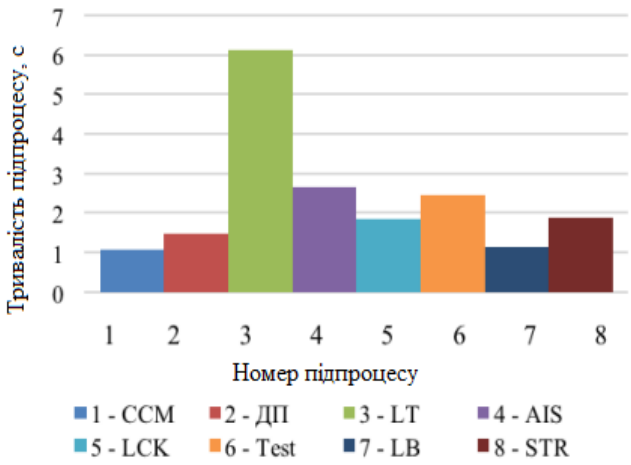
Для кожного підпроцесу в моделі встановлено свій розподіл часу формування повідомлення ($T_{ФС}$), що задається за випадковим законом розподілу. Кругова діаграма на рис. 3.9 ілюструє різні значення параметра $T_{ФС}$, які оновлюються кожної події у моделі. Результати, отримані в ході моделювання AnyLogic, вимагають додаткового аналізу та представлені в додатку Д на малюнках Д.1-Д.3. У зв'язку з цим були отримані адаптовані та оброблені результати, представлені на рисунках 3.3-3.5.



Малюнок 3.3 – Діаграма значень

На рис. 3.4 представлена діаграма тривалостей кожного підпроцесу, що моделюється. У агентної моделі виконання всіх описаних підпроцесів здійснює

в паралельному режимі у разі завдання параметра періодичності посилки повідомлення ССМ. За інших випадках події обробляються послідовно.



Малюнок 3.4 – Тривалість підпроцесів за параметра ТФС підпроцесів моделі вихідних даних, які задаються за замовчуванням

На рис. 3.5 та 3.6 представлений графік, який ілюструє зміну тривалості циклу управління ($T_{1_{цу}}$) для окремо взятого елемента фрагмента ТМЗ при випадкових значеннях, що вводяться, параметра часу формування повідомлення ($T_{ФС}$) і при найменшій інтенсивності посилки повідомлення ССМ в умовах відсутності конкуруючих подій. На ньому вказані реалізовані підпроцеси, які більшою мірою роблять тимчасовий внесок у загальну тривалість циклу. Отримані значення $T_{1_{цу}}$ при зіставленні результатів із задіяними в експерименті підпроцесами говорять про істотний внесок у значення тривалості циклу управління фрагментом мережі ряду підпроцесів, таких як LB (перевірка двонаправленої зв'язності), LT (локалізація несправності) та AIS (інформування СУ про наявність несправного маршруту фрагмента мережі). Найбільше значення $T_{1_{цу}}$ досягається при виконанні підпроцесу локалізації несправності LT (див. рис. 3.5).

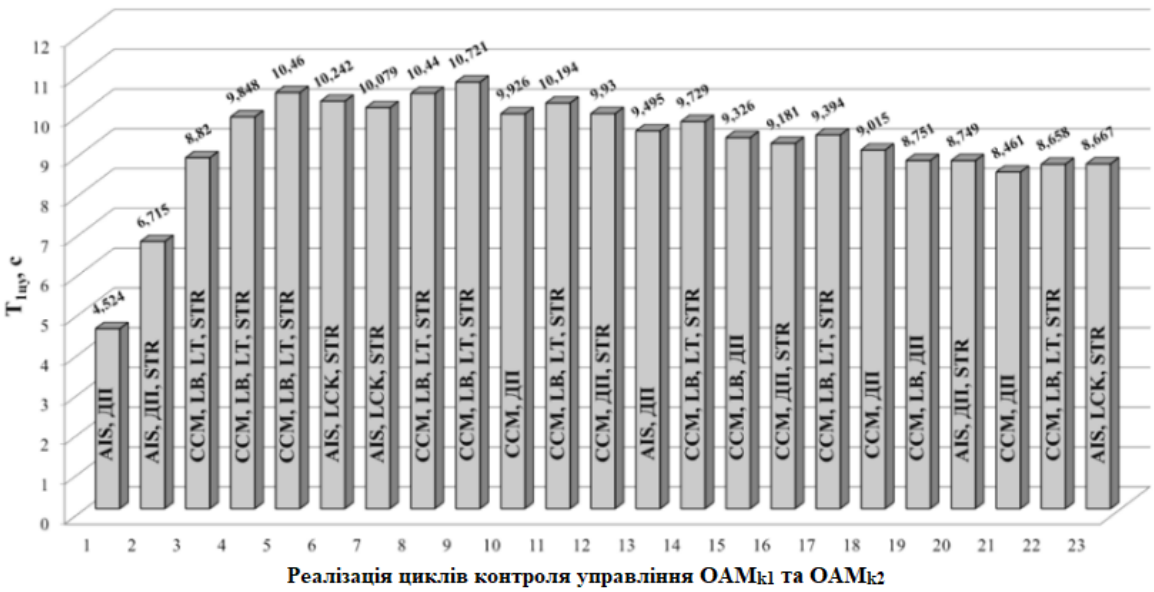


Рисунок 3.5– Графік тривалості циклу управління ($T_{1_{цу}}$) в умовах випадкової тривалості формування повідомлення із зазначенням підпроцесів, що вносять найбільший внесок у тривалість циклу

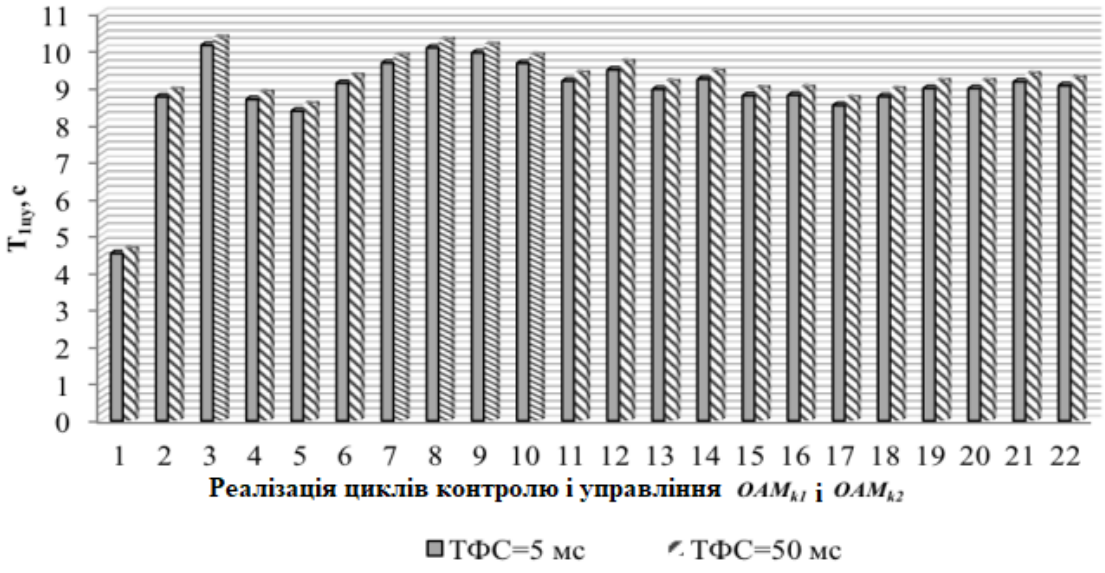


Рисунок 3.6. Графік тривалості циклу управління ($T_{1_{цу}}$) при заданих значеннях параметра часу формування повідомлення (5 та 50 мс)

На рис. 3.6 зображено графік тривалості циклу управління при заданих значеннях (5 та 50 мс) параметра $T_{ФС}$. При завданні різних значень $T_{ФС}$ всередині комутатора було встановлено, що модель нечутлива до даного параметра і тривалість циклу змінюється незначно (в межах 1 с).

На рис. 3.7 представлені графіки тривалостей циклу $T_{1_{цу}}$ при заданих значеннях параметра періодичності посилки повідомлення для перевірки цілісності маршруту мережі $\Delta T_{ССМ}$. Виявлено, що даний параметр впливає на значення тривалості циклу: менше 10 с при періодичності $\Delta T_{ССМ}$ від 1 до 5 с. Максимальне значення $T_{ц} = 9{,}743$ с досягається один раз за весь час моделювання. Це говорить про велику дисперсію розподілу параметра тривалості циклу при $\Delta T_{ССМ} = 5$ с.

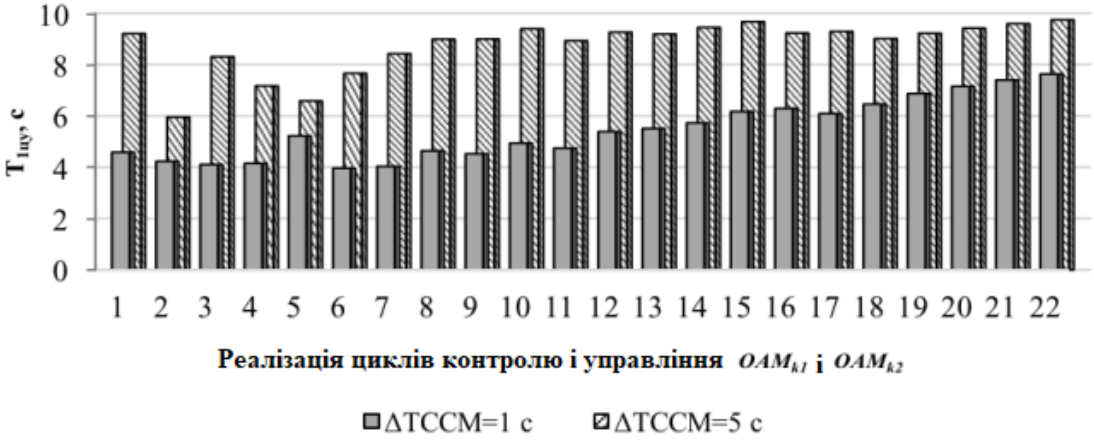


Рисунок 3.7. Графік тривалості циклу керування ($T_{1_{цу}}$) при зміні періодичності перевірочного повідомлення $\Delta T_{ССМ}$ (1 та 5 с)

Варто зазначити, що починаючи з $\Delta T_{ССМ} < 5$с тривалість циклу має значення в межах 6-10 с і практично не змінюється, демонструючи невелику дисперсію розподілу параметра $T_{1_{цу}}$. Фактично вирішується завдання обґрунтування та вибору прийнятного значення періодичності посилки повідомлення ССМ, при якому можна без збільшення тривалості циклу

контролювати стан елементів, не втрачаючи при цьому з контролю інші події в мережі.

3.2. Модель функціонування та управління транспортної мережі зв’язку як складова мультиагентної системи управління

В силу того, що ТМЗ є вели кою і складною системою електрозв'язку, для її моделювання потрібен особливий математичний апарат. Агентне моделювання СУ відноситься до класу імітаційного моделювання. Імітаційне моделювання є дослідження поведінки децентралізованих агентів і те, як ця поведінка визначає поведінку всієї системи в цілому [31,40.41]. Імітаційне моделювання дозволяє моделювати складні адаптивні системи.

Імітаційні моделі (ІМ) складаються з динамічно взаємодіючих за певними правилами агентів. Середовище, в якому вони взаємодіють, може бути досить складним.

Метою створення ІМ є отримання повного уявлення про глобальні правила та загальну поведінку системи. Основною особливістю імітаційного моделювання є акцент на поведінці окремих об'єктів у процесі моделювання. Прикладами програмних засобів, що моделюють агентів, можуть бути Anylogic [51,55], NetLogo і Simplex3. У цьому випадку було вибрано середовище розробки AnyLogic, оскільки цей інструмент дозволяє використовувати мову Java для розробки моделей, а також дозволяє комбінувати декілька підходів для створення ІМ.

Завдання моделювання полягає в побудові моделі МАСУ, де як розподілений об'єкт управління виступає ТМЗ на основі технології СЕ, для демонстрації динаміки зміни стану фрагмента ТМЗ і отримання оцінки мережевої надійності та відмовостійкості як окремих елементів, так і фрагмента мережі в цілому.

Відповідно до структури МАСУ (рис. 2.4) [15,18б38] та схеми взаємодії фрагмента ТМЗ та вузла МАСУ (рис. 2.2) [40,41] найбільша відповідальність по збору та реєстрації повідомлень для управління та контролю станом фрагмента ТМЗ лежить на агентах реєстрації та аналізу подій (A_{REG}) [40, 43]. Тому при моделюванні МАСУ ТМЗ під агентом МАСУ розумітимемо агента реєстрації та аналізу подій (A_{REG}), який у свою чергу відображає стан та параметричний простір деякого елемента фрагмента ТМЗ. Кожен агент МАСУ містить інформаційне відображення елемента відповідного фрагмента ТМЗ. Для створення моделі МАСУ використовувалося середовище моделювання AnyLogic. Алгоритм модельованого процесу OAM_{k3} контролю та управління станом фрагмента ТМЗ представлений на рис. 3.8 і включає набір механізмів ОАМ, які являють собою підпроцеси моделі. В алгоритмі виділено процеси OAM_{k1} (блок 1) та OAM_{k2} (блок 2), а також підпроцес перевірки параметрів елементів ТМЗ (блок 3), які входять до складу OAM_{k3}.

Розробка моделі включає кілька етапів, які представлені на рис. 3.9. Так як основними елементами ТМЗ є вузлові комутатори (маршрутизатори) або їх з'єднання, то елементи ТМЗ можна класифікувати на елементи і маршрути. При створенні моделі МАСУ передбачається створення таких агентів, які є інформаційним відображенням кожного елемента ТМЗ [16,31].

У кожному фрагменті ТМЗ є безліч елементів *E* та безліч сполук цих елементів С, а у вузлі МАСУ, що контролює стан даного фрагмента, є безліч (блок 1 на рис. 3.9) ,агентоелементів (агенти, що відображають стан відповідних елементів фрагмента ТМЗ) і безліч агентів-маршрутів (агенти, що відображають стан відповідних маршрутів фрагмента ТМЗ, які у свою чергу містять кілька елементів). У середовищі моделювання AnyLogic безліччю агентів одного й того типу називається популяція агентів. За таким принципом у AnyLogic створено дві популяції: «*equipments*» стипом агентів "*Equipment*" - для

створення агентів-елементів та "*connect*" з типом агентів "*Connect*" - для створення агентів-маршрутів.

У силу того, що до завдань вузла МАСУ відноситься управління фрагментом ТМЗ, то конфігурація фрагмента ТМЗ повинна бути задана для відповідного вузла МАСУ. У середовищі моделювання формується простір, в якому існуватимуть та взаємодіятимуть агенти (блок 3 на рис. 3.9). Причому простір формується шляхом налаштувань мережі автоматично або вручну за допомогою статичних і динамічних координат розташування в графічному редакторі AnyLogic для кожного агента. На рис. 3.10 представлений прототип фрагмента ТМЗ, на основі якої проводилося моделювання функціонування.

Початкова кількість агентів-елементів задано, що дорівнює 20, а кількість агентів-маршрутів – 10.

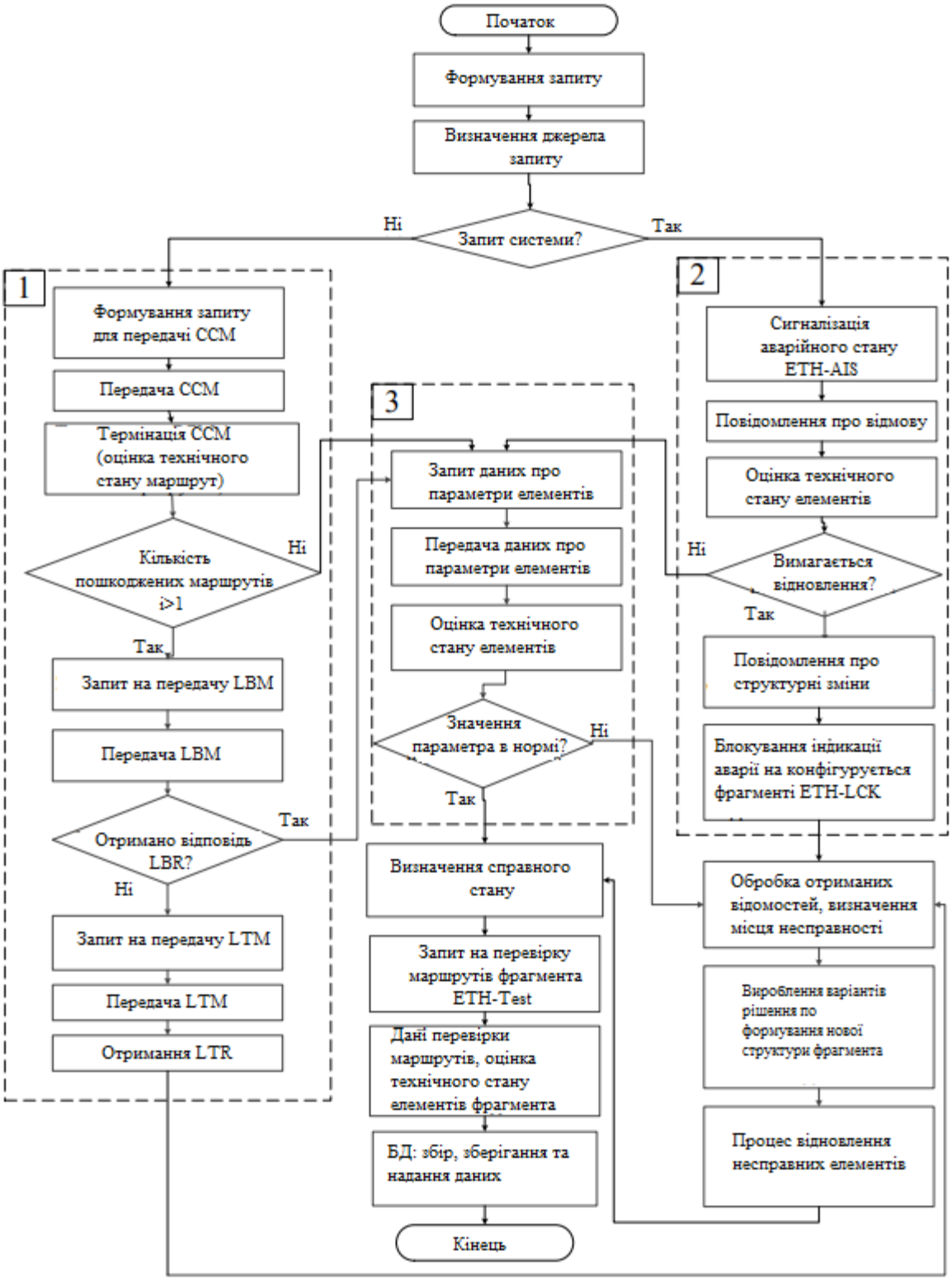


Рисунок 3.8. Алгоритм процесу OAM_{k3} контролю та управління станом елементів фрагмента ТМЗ СЕ

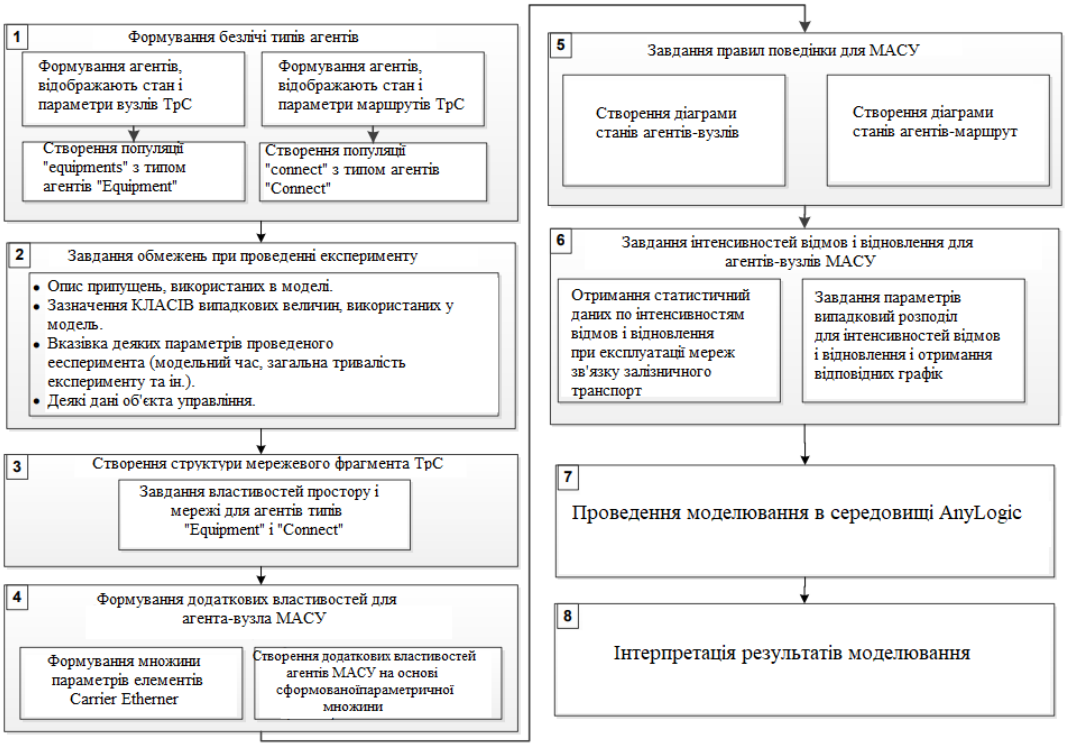


Рисунок 3.9. Структура імітаційної моделі МАСУ

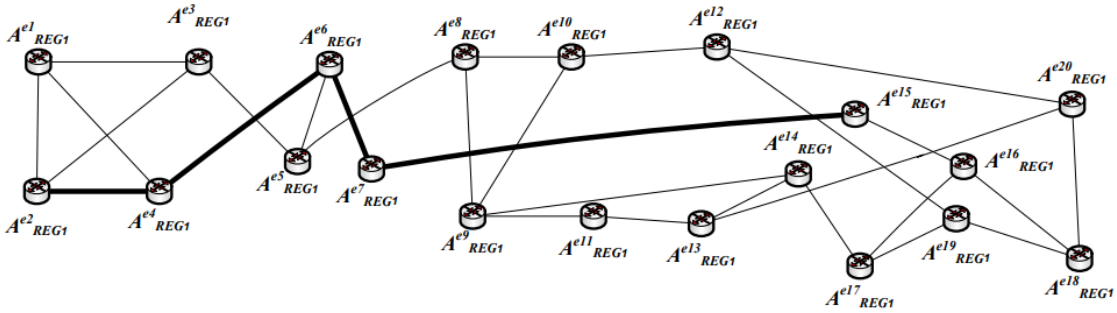


Рисунок 3.10.Структура модельованого фрагмента ТМЗ із зазначенням прикладу маршруту

Так як до завдань вузла МАСУ відноситься управління фрагментом ТМЗ, то структура кожного такого фрагмента повинна ути реалізована для агентів МАСУ. У середовищі моделювання AnyLogic для популяції агентів можна створювати тип зв'язності, відповідно до якої агенти будуть існувати. Усі

елементи ТМЗ характеризуються набором параметрів. Зміна значень параметрів внаслідок дії на мережу зовнішніх факторів тягне за собою зміну стану відповідних їм елементам ТМЗ, і загалом всього фрагмента ТМЗ. Ці зміни відображатиме агент МАСУ, а зрештою ця зміна впливатиме на формування нової структури ТМЗ. Тут простежується необхідність у створенні всього параметричного простору елементів ТМЗ. У таблиці 3.3 представлені параметри елементів ТМЗ у вигляді додаткових властивостей, що задаються в моделі для агентів МАСУ (блок 4 на рис.3.9).

Таблиця 3.3

Додаткові властивості агентів МАСУ

Класифікація параметру в МАСУ	Назва параметра	Тип	Безліч значень
Параметри конфігурації	Ethernet	boolean	VLAN tunneling (Q-in-Q) for TLS
		boolean	IEEE 802.3u (Fast Ethernet)
		string	IEEE 802.3x,z,d,q,ad,ab,ah,s
		boolean	VLAN Translation
	Захист з'єднання та шляху	boolean	Ручна агрегація з'єднання
		boolean	STP
		boolean	RSTP Self Loop Detection
	Тип порта	boolean & integer	4 x 1000 BASE-FX ports
			16 x 1000 BASE-FX ports
			24 x 100 BASE-FX ports
			1 x OOB Management port
			1 x Console Port (RS-232)
	Управління мережею	boolean	SNMP, SNMP MIB II (RFC 1213)
		boolean	Y.1731 Performance Monitoring
		boolean	IEEE 802.1ag
		boolean	Connectivity Fault Management
		boolean	Fault Detection (Trace route, packet trace, IFG shaving)
Параметри оціки стану	Якість послуг QoS, що надаються	string	128 рівнів сервісів
		integer	CIR
		integer	EIR
		string	DiffServ

Правила поведінки для агентів МАСУ, які враховують особливості архітектури OAM Carrier Ethernet, ґрунтуються на розроблених алгоритмах

управління (рис. 3.6 та рис. 3.7). Дані алгоритми включають ряд підпроцесів з управління та контролю несправностями, деякі з яких частково реалізовані в імітаційному моделюванні МАСУ, що дозволяє використовувати результати моделювання процесів [54,55]. У моделі враховуються два стани всіх агентів: справне та несправне. У цьому модель дозволяє розширювати кількість станів агента. Зміни стану агентів визначає діаграма станів елементів ТМЗ, представлена на рис. 3.10, а маршрутів – на рис. 3.11. Переходи в діаграмі задаються за допомогою функцій розподілу ймовірності відмов (*Lambda*) та відновлення (*Mu*). Після повного відновлення агента елемента МАСУ отримує повідомлення типу «Відновлення» активації переходу відповідного агента в справний стан.

Крім завдання функції розподілу як способу, що здійснює перехід у діаграмі стану, можна задати повідомлення, при отриманні якого агент змінюватиме свій стан. На рис. 3.11 представлена діаграма, яка ілюструє перехід зі стану «GoodTrack» (справний маршрут) в стан «nGoodTrack» (несправний маршрут) і навпаки. Перехід здійснюється при отриманні повідомлень типу "Елемент неактивний" та "Елемент активний" від агента-елемента.

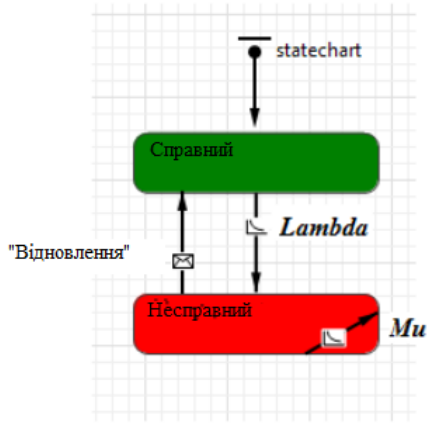


Рисунок 3.10 – Діаграма станів елементів ТМЗ

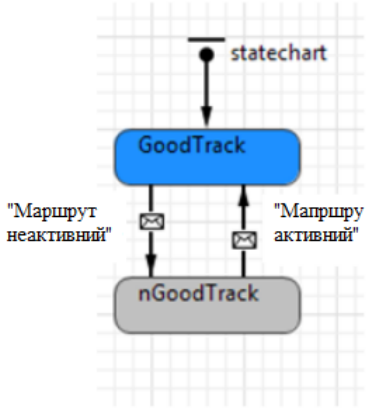


Рисунок 3.11 – Діаграма станів маршрутів ТМЗ

Діаграми станів (карти станів) є універсальним засобом завдання поведінки агента. Діаграми станів містять безпосередньо самі стани та переходи. Стан діаграми є взаємовиключними. Спрацювання переходу призводить до зміни стану та активації нових переходів. Допускається створення ієрархічних станів, які містять в собі інші стани та переходи. В одного агента може бути одразу кілька діаграм станів, кожна з яких описує незалежні аспекти поведінки агента [39,53,54].

Зміна стану елемента ТМЗ відображається в МАСУ шляхом зміни стану відповідного агента вузла МАСУ. Після цього безпосередньо агент, а також інші блоки керування вузла МАСУ (див. рис. 2.4) реагують на відповідні команди керування. У середовищі моделювання алгоритм роботи процесів періодичного контролю та стану фрагмента ТМЗ задається за допомогою діаграми дій, зображеної на рис. 3.12.

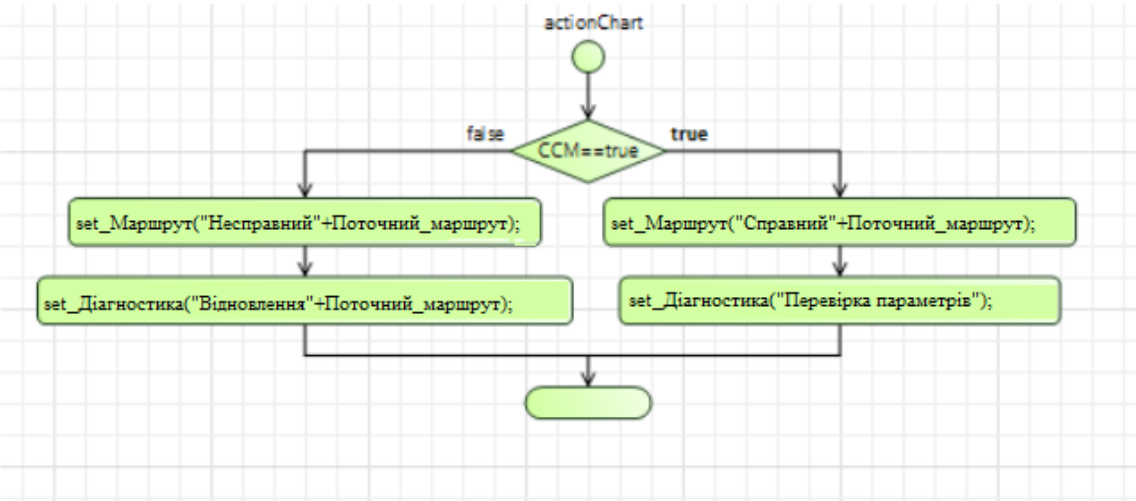


Рисунок 3.12. Діаграма дій агентів вузла МАСУ

Діаграма дій починає свою роботу, як тільки змінюється стан якогось агента. Стан агента-елемента діагностується за допомогою перевірочного повідомлення CCM (Continuity Check Message). В результаті порівняння даних повідомлення CCM для одного маршруту ТМЗ можливі два випадки:

1) невідповідностей не виявлено, маршрут справний, елементи маршруту знаходяться у справному стані - тоді діаграма дій запускає підпроцес перевірки параметрів елементів даного маршруту;

2) Виявлено несправність у маршруті, маршрут встановлюється несправним, запускається підпроцес локалізації несправності для пошуку несправного агента Далі запускаються підпроцеси відновлення агента та формування безлічі варіантів зміни структури фрагмента мережі.

Переходи в діаграмі станів задаються за допомогою функцій розподілу ймовірності відмов та відновлення:

$$E(t) = 1 - e^{-\left(t/a\right)^{b}} = 1 - e^{-\left(t/2{,}017\right)^{2{,}138}} \tag{3.1}$$

- *Lambda* (функція розподілу ймовірності відмови пристрою) задана за допомогою закону випадкового розподілу Вейбулла-Гнєденка:

Даний розподіл було отримано на основі статистичних даних зв'язкового обладнання за результатами двох років роботи, а також для отримання такого розподілу було розраховано його точкові параметри [36, 37].

$$\hat{b} = \frac{\ln\ln F_2 - \ln\ln F_1}{\ln\frac{t_2}{t_1}} = 2{,}138 \tag{3.2}$$

$$\hat{a} = \frac{t_1}{\left(-\ln F_1\right)^{1/b}} = 2{,}017 \tag{3.3}$$

де F_1, F_2, t_1, t_2 отримані внаслідок побудови експериментальної функції розподілу відмов устаткування зв'язку різного типу [53, 54,56].

- *Mu* (функція розподілу часу відновлення справного стану пристрою) задані за допомогою змінних AnyLogic, які дозволяють задавати цю величину як випадкову та формувати для неї нормальний розподіл із необхідними характеристиками.

Завдання характеристик цієї змінної також зумовлювалося даними статистики експлуатації мереж зв'язку залізничного транспорту [53, 55] У моделі прийнято такі обмеження та припущення (блок 2 рис. 3.8):

1. Розглядається фрагмент ТМЗ під управлінням одного вузла МАСУ;

2. Вузол МАСУ складається з 20 агентів, які відображають стан елементів одного фрагмента ТМЗ;

3. Функції розподілу випадкових величин відносяться до класу нормальних та Вейбулла-Гніденко;

4. Характеристики випадкових величин визначаються статистичними засобами;

5. Тривалість експерименту вбирається у 10 років модельного часу;

6. Середня кількість елементів, що входять до складу маршруту, становить 5. На рис. 3.13 представлено узагальнений алгоритм роботи моделі функціонування маршрутів фрагмента ТМЗ. Ключовими блоками є: вибір варіанта роботи МАСУ (для отримання попередньої оцінки тривалості циклу управління або агентного моделювання процесу функціонування фрагмента ТМЗ); вибір модельованого процесу в рамках виконання дискретно-подійної моделі (розділ 3.3 дисертації) для отримання попередньої оцінки тривалості циклу управління фрагментом ТМЗ; виконання процесу OAM_{k3} на основі заданих функцій розподілу ймовірності відмов та відновлення, отриманих статистичним методом; опис етапів формування процесу реконфігурації маршрутів та фрагмента ТМЗ у випадку виявлення типових несправностей та/або параметра елемента ТМЗ, що не відповідає необхідному значенню.

Таким чином, за допомогою розроблених діаграм було отримано результати проведеного моделювання. Результати станів елементів ТМЗ при проведенні моделі представлені на рис. 3.14. На рис. 3.15 представлені дані, що відображають стан агентів-маршрутів протягом усієї тривалості циклу моделювання.

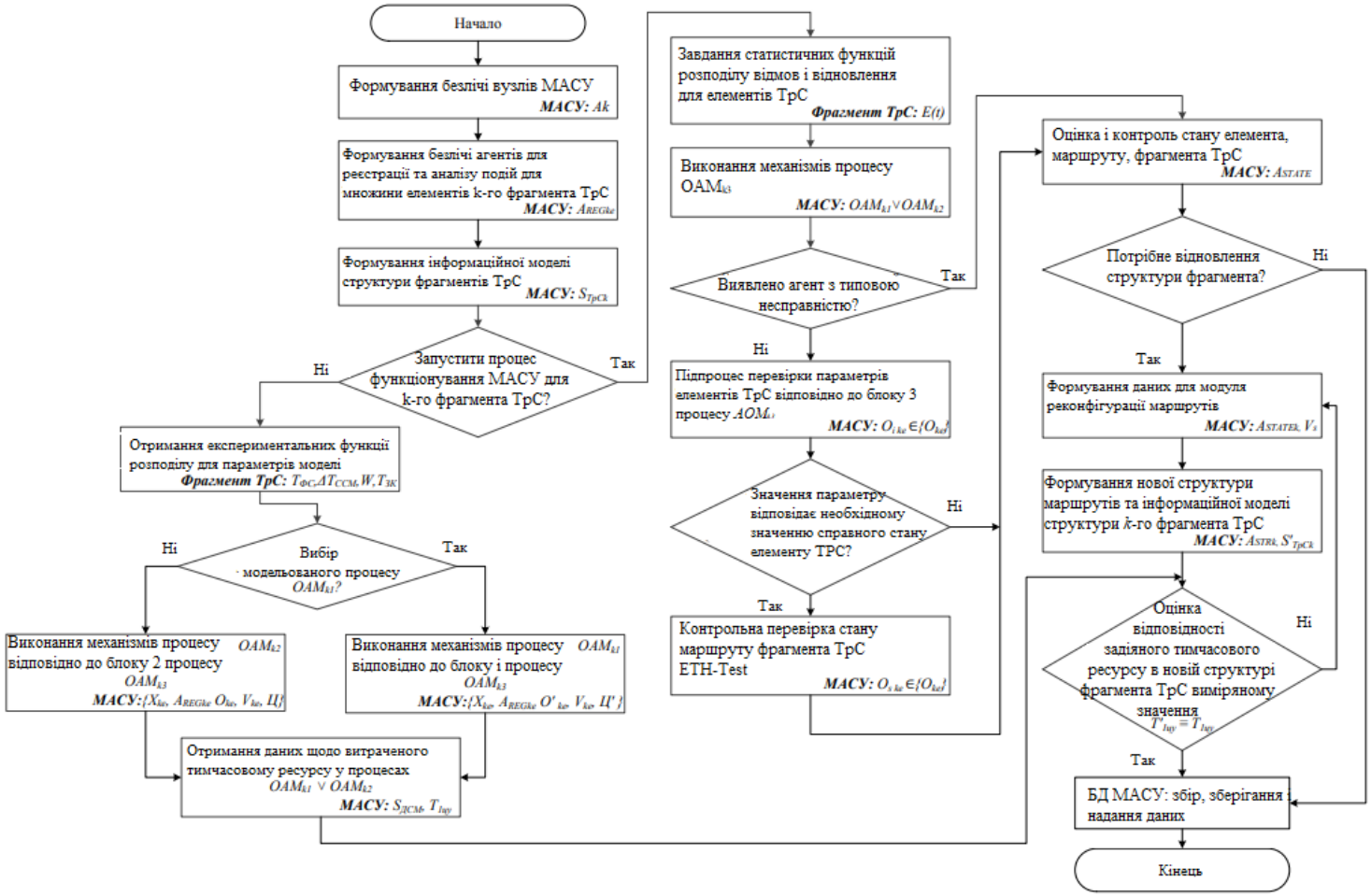


Рис. 3.13. Алгоритм роботи моделі функціонування маршрутів фрагменту ТМЗ

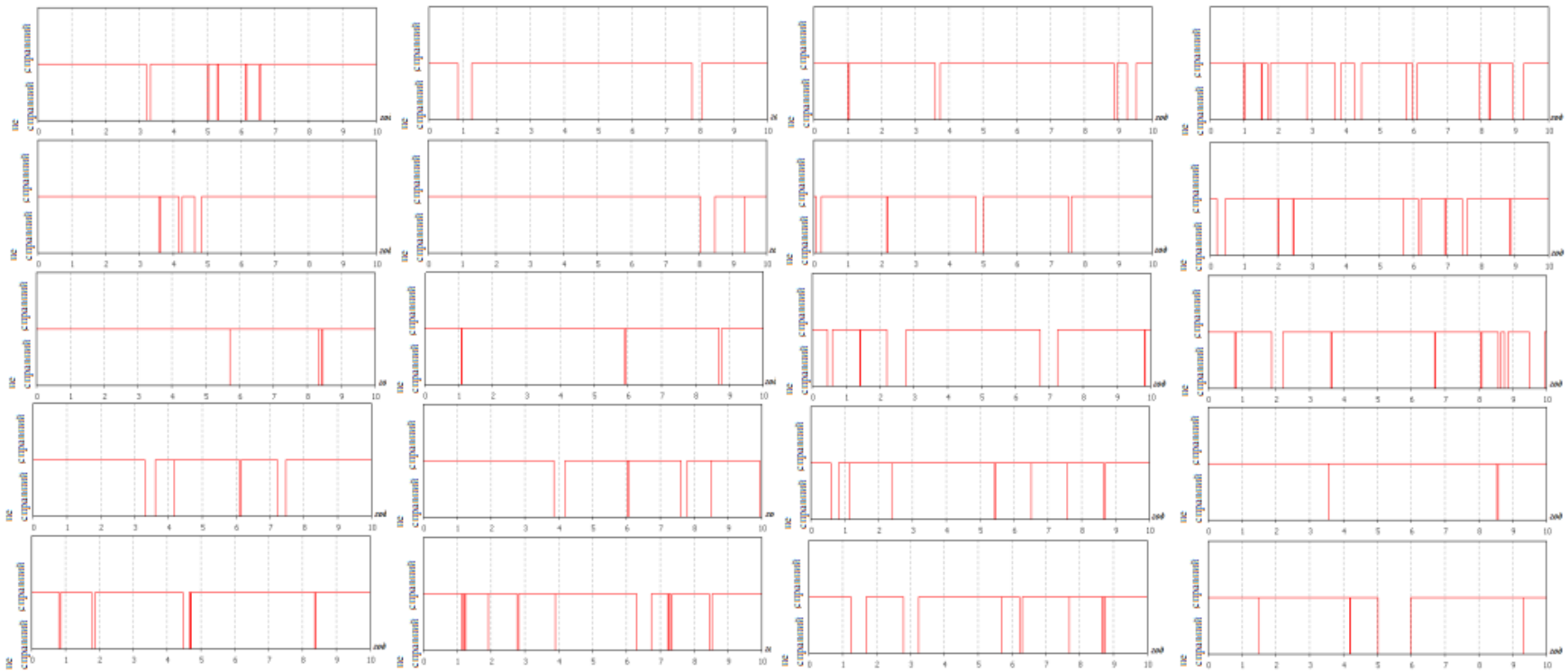


Рисунок 3.14. Результати моделювання стану агентів-елементів ТМЗ

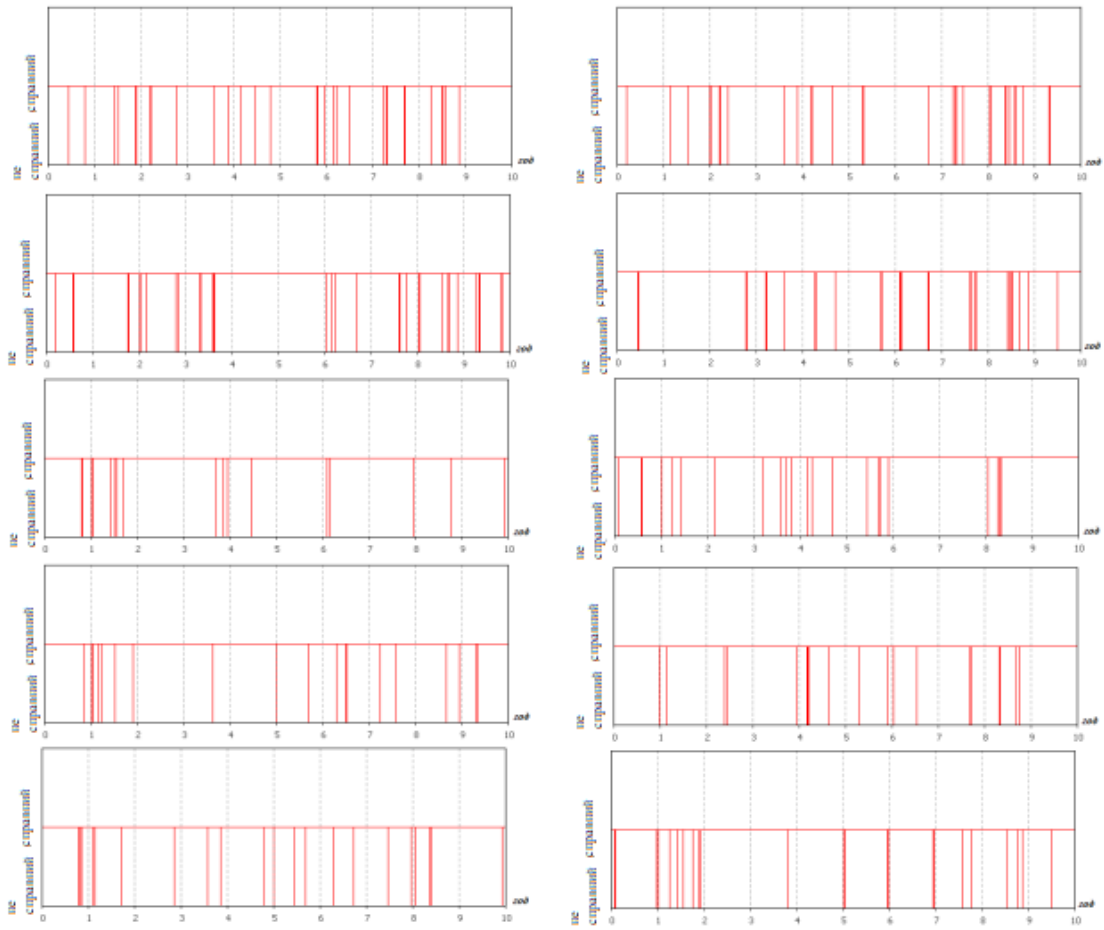


Рисунок 3.15. Результати моделювання стану агентів-маршрутів ТМЗ

Так як результати моделювання AnyLogic представляються у вигляді великого масиву даних для кожного відмови кожного агента і маршруту, тому в табл. 3.3 та 3.4 представлені середні значення відповідних величин.

Таблиця 3.3

Математичні очікування часу напрацювання на відмову та відновлення відмови за маршрутами фрагмента мережі

Номер маршруту(j)	Кількість зафіксованих відмов в j-му маршруті	Математичне очікування часу напрацювання на i-ю відмову (EX_{ij}), ч	Математичне очікування часу відновлення i-ої відмови (EQ_{ij}), ч
1	5	19,71	2,19
2	7	145,98	1,46
3	4	161,31	2,19
4	8	18,98	2,19
5	9	6,57	2,92
6	11	190,51	2,92

7	5	108,76	2,92
8	5	159,12	1,46
9	12	107,3	1,46
10	10	192,7	1,46

Таблиця 3.4.

Математичні очікування часу напрацювання на відмову та відновлення відмови щодо елементів фрагмента мережі

Номер машруту(j)	Кількість зафіксованих відмов в j-му маршруті	Математичне очікування часу напрацювання на i-ю відмову (EX_{ij}), ч	Математичне очікування часу відновлення i-ої відмови (EQ_{ij}), ч
1	2	2085,4	29,93
2	1	1323,36	2010,22
3	2	2082,48	32,85
4	2	2109,49	2,92
5	2	2094,16	17,52
6	2	2120,44	33,58
7	2	2055,47	68,61
8	2	2164,23	94,89
9	2	2056,2	67,88
10	2	2109,49	7,29
11	2	2096,35	16,06
12	2	2105,84	32,12
13	2	2107,3	0,13
14	2	2107,3	1,46
15	2	2214,6	32,85
16	2	2116,78	16,06
17	2	2105,84	2,19
18	2	2140,15	76,64
19	2	2108,03	2,92
20	2	2120,44	18,98

Для вирішення поставленого завдання, пов'язаного з отриманням значень оцінки надійності мережі, необхідно визначити основні показники надійності. У цій роботі оцінюються такі показники надійності як середнє напрацювання на відмову (T_{nno}), середній час відновлення (T_{vv}) та коефіцієнт готовності (K_g) [57,58].

На підставі отриманих статистичних значень параметрів надійності та оцінок стану елементів та маршрутів ТМЗ можна визначити коефіцієнт готовності за такою формулою [56-59]:

$$K_g^{connect} = \frac{EX_{ij}}{EX_{ij}+EQ_{ij}} = \frac{111,09}{111,09+2,12} = 0,982 \quad (3.4)$$

У формулі 3.1 EX_{ij} і EQ_{ij} – це математичні очікування величин T_{nno} і T_{vv}відповідно, отримані в результаті збору даних за маршрутами фрагмента ТМЗ, що моделюється. У виразі 3.5 представлений розрахунок коефіцієнта готовності фрагмента ТМЗ з урахуванням значень математичних очікувань величин T_{nno}і T_{vv}, отриманих в результаті збору даних про елементи фрагмента ТМЗ, що моделюється:

$$K_g^{equip} = \frac{EX_{ij}}{EX_{ij}+EQ_{ij}} = \frac{2066,17}{2066,17+128,25} = 0,942 \quad (3.5)$$

Таким чином, отримано два значення коефіцієнта готовності. Для оцінки надійності фрагмента мережі, структурованого за маршрутами та використовуючого для управління несправностями алгоритми ОАМ СЕ, отримано значення коефіцієнта готовності мережі – 0,982. Друге значення коефіцієнта готовності 0,942 було отримано за тих самих умов, але не враховуючи структури, що містить маршрути. Таким чином, надійність фрагмента ТМЗ залежить від наявності процесів контролю управління станом, як окремих мережевих елементів, так і маршрутів.

На рис. 3.16 представлений графік залежності коефіцієнта готовності фрагмента ТМЗ від кількості елементів у маршруті та від кількості елементів у фрагменті ТМЗ. Графік на рис. 3.16 ілюструє вибір прийнятної кількості елементів у маршруті та окремо сформованих фрагментах ТМЗ залежно від необхідного значення коефіцієнта готовності.

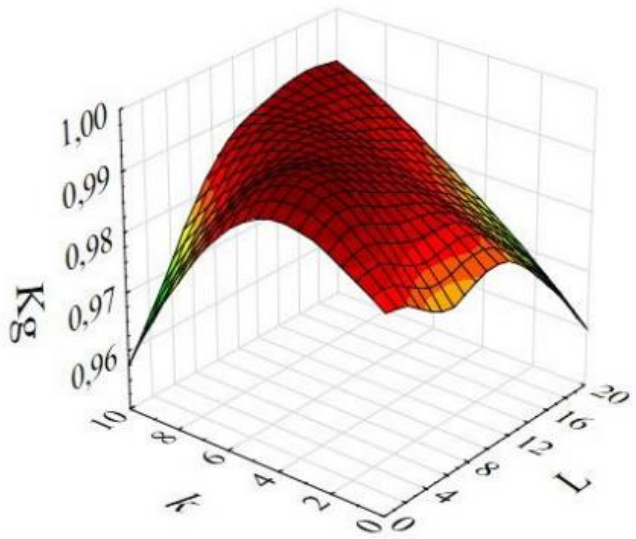


Рисунок 3.16. Графік залежності коефіцієнта готовності фрагмента ТМЗ від кількості елементів у фрагменті мережі *L* та кількості елементів у маршруті *k*

На рисунках 3.17 представлена залежність коефіцієнта готовності від часу напрацювання на відмову та часу відновлення відмови відповідно. Графік на рис. 3.17 дозволяє також обґрунтовано вибирати раціональний рівень надійності мережі в рамках параметра коефіцієнта готовності та при цьому відповідати вимогам щодо відмовостійкості елементів мережі.

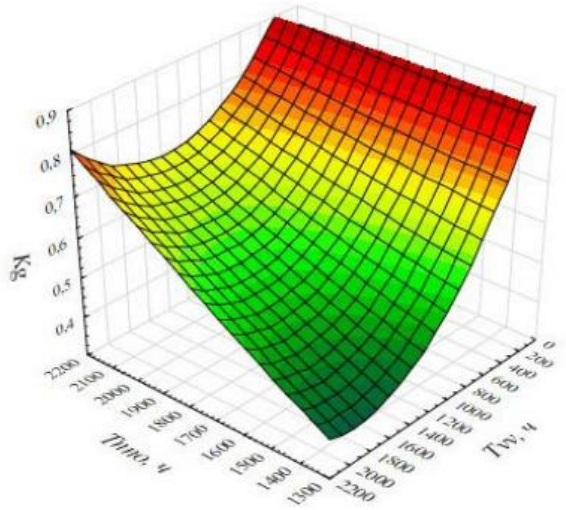


Рисунок 3.17. Графік залежності коефіцієнта готовності елемента від часу напрацювання на відмову та час відновлення відмови мережного елемента Carrier Ethernet

Отриманий коефіцієнт готовності мережі чутливий до трьох ключових параметрів моделі – k (кількість елементів у маршруті), T_{nno} (час відпрацювання на відмову в елементі СЕ), T_{vv} (час відновлення відмови в елементі СЕ). У першому випадку, коли в моделі встановлювалася різна кількість елементів у маршруті, був отриманий графік, що ілюструє вибір кількості елементів у маршруті, що застосовується, в залежності від необхідного значення коефіцієнта готовності. В даному випадку оптимальна кількість елементів у маршруті при максимальному значенні K_gсклала близько 7 і більше елементів. У разі тимчасових параметрів, пов'язаних з напрацюванням на відмову та часом відновлення відмови, отримані графіки ілюструють взаємозворотну залежність від K_g. Отже, графіки на рис. 3.19-3.22 дозволяють також обґрунтовано вибирати прийнятний рівень надійності мережі в рамках параметра K_g і при цьому відповідати вимогам щодо відмовостійкості елементів мережі. [56-59].

3.3. Висновки по розділу

1. На основі розробленої концептуальної моделі СУ ТМЗ (Розділ 2) виділено підмножину незалежних підпроцесів, на основі яких сформовано три ключові процеси управління, що виконуються в МАСУ для досягнення різних цілей та завдань управління.

2. Для виділених процесів управління ТМЗ розроблені алгоритми:

- процес контролю фрагмента ТМЗ та управління за результатами пошуку відхилень ОАМ_{k1},

- процес контролю фрагмента ТМЗ та управління за результатами інформування МАСУ ОАМ_{k2},

- узагальнений процес контролю та управління станом фрагмента ТМЗ $ОАМ_{k3}$.

Розроблені процеси контролю та управління станом ТМЗ на основі технології СЕ дозволяють вирішувати такі завдання:

- функціонування СУ ТМЗ при періодичних запитах від МАСУ на виконання оцінки технічного стану елементів ТМЗ, які вирішуються на рівні керування елементами мережі (EMS);

- функціонування СУ ТМЗ при періодичних запитах від МАСУ на виконання оцінки технічного стану ТМЗ, які вирішуються на рівні управління мережею (NMS);

- функціонування СУ ТМЗ при надходженні до МАСУ повідомлень про зміну стану одного або кількох елементів ТМЗ.

3. Розроблено модель процесів контролю і управління фрагментом транспортної мережі зв'язку на основі підсистеми мультиагентної системи управління.

Запропонована модель дозволили отримати оцінку тимчасових характеристик процесів функціонування ТМЗ залежно від тимчасових характеристик окремих підпроцесів управління ТМЗ, оцінку динаміки зміни стану фрагмента ТМЗ. Це, у свою чергу, дозволяє формувати оцінки мережевої надійності та відмовостійкості, а також на етапах планування та проектування оцінювати відповідність перспективної МАСУ вимогам щодо оперативності виконання циклу управління, а у разі невідповідності цим вимогам формувати обґрунтовані рекомендації щодо зміни ВХ окремих підпроцесів.

5. Здійснено моделювання двох процесів контролю та управління станом ТМЗ, об'єднаних на основі дискретно-подійного способу моделювання. Модель процесу контролю та управління станом ТМЗ на основі підсистеми МАСУ дозволяє виявляти несправності та відновлювати елементи СЕ на основі базових механізмів ОАМ, також у моделі використовуються статистично визначені функції розподілу випадкової величини зміни стану елементів ТМЗ.

6. Здійснено моделювання узагальненого процесу контролю та управління фрагментом ТМЗ OAM_{k3} на основі технології РЄ та механізмів ОАМ.

Модель є частиною МАСУ і включає не тільки об'єкт управління як ТМЗ СЕ, але і керуючу систему на основі апарату агентного моделювання (МАСУ), яка дозволяє будувати моделі будь-якого масштабу та складності з урахуванням різних функцій розподілу випадкових величин відмови та відновлення елементів підтримки зв'язності ТМЗ.

7. Розроблено модель функціонування та управління транспортної мережі зв’язку як складова мультиагентної системи управління.

У моделі враховуються два стани всіх агентів: справне та несправне. У цьому модель дозволяє розширювати кількість станів агента.

8. Представлені математична та імітаційна моделі процесу управління ТМЗ працездатні та чутливі до зміни вихідних даних, а результати моделювання узгоджуються зі статистичними даними по часу, що витрачається на відновлення ТМЗ.

9. Масштабованість моделей процесів управління ТМЗ можлива за рахунок додавання підпроцесів або декомпозиції окремих підпроцесів у окремий алгоритм серед моделювання AnyLogic.

РОЗДІЛ 4.
МЕТОДИКА ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТАНСПОРТНОЮ МЕРЕЖЕЮ ЗВЯЗКУ

4.1. Розробка методики формування системи керування транспортною мережею зв'язку

Об'єднання результатів отриманих моделей [11,14,15,16,23,46,56] для формування СУ можливе за допомогою розробки методики, яка дозволить враховувати особливості технології Carrier Ethernet, а реалізація СУ ТМЗ на базі такої методики дозволить забезпечувати задану оперативність управління в умовах великого масштабу мереж.

Для виконання поставлених завдань перед СУ ТМЗ необхідно застосування МАСУ [11, 14, 29-31,40,41], яка орієнтована на:

– збирання, накопичення та аналіз отриманих даних;

– вибір та виконання одного або декількох процесів контролю та управління станами ТМЗ в умовах недостатності часових ресурсів;

– формування варіантів рішення щодо реструктуризації ТМЗ при знайдених несправностях у результаті реалізації процесів;

– формування варіантів рішення з реструктуризації ТМЗ при виявленні невідповідностей виміряних параметрів вимогам до параметрів елементів ТМЗ.

Відповідно до розробленої концептуальної моделі СУ ТМЗ, МАСУ функціонує на рівнях оперативно-технічного та технологічного управління та взаємодіє з ТМЗ через систему технічної експлуатації (СТЕ), що здійснює оперативний контроль станів та параметрів елементів ТМЗ, вимірювання параметрів елементів ТМЗ, резервування, відновлення та ремонт елементів ТМЗ. При описі взаємодії МАСУ та ТМЗ базовими операціями є [16,23,46]:

– реєстрація, аналіз та оцінка технічного стану ТМЗ A_{REGke},$C_{,Ak}$ V_{ke};

– вимірювання параметрів елементів ТМЗ на основі проведеної оцінки технічного стану елементів ТМЗ $P'_{E\text{ТрС}e}$;

– передача, збирання та обробка виміряних даних $P_{E\text{ТрС}e}$, $S_{,\text{АМ}}$, $y_{1...8}$;

– Визначення типу несправності $F_{OAM}\{F_{OAMf}\}$;

– Формування безлічі рішень по реконфігурації ТМЗ $S_{\text{ВВР}}$, $V_{\text{ТрС}}$.

При формуванні оцінки надійності ТМЗ використовуються розроблені процеси контролю та управління, подані в розділі 3 дисертації (див. Мал. 3.1 та рис. 3.2) [31,38,40], за яких кожному процесу відповідає типовий набір підпроцесів.

Оскільки ТМЗ є великою і складною системою, то кількість наборів вхідних даних і, відповідно, кількість типових несправностей та варіантів реструктуризації суттєво зростає, що вимагає застосування спеціальної системи мультиагентного управління, структура якої представлена на рис. 2.2.

Розроблювана методика призначена для формування МАСУ ТМЗ при проектування та розроблення СУ ТМЗ. Для досягнення мети дисертації крім розроблених моделей (розділ 3 дисертації) необхідно розробити методику, що дозволяє використовувати як результати отриманих моделей, так і взаємодії сформованих структурних одиниць для забезпечення заданої оперативності управління за умов великого масштабу мереж.

Алгоритмічна структура методики формування СУ ТМЗ складається з сукупності логічно взаємопов'язаних етапів формування рішень щодо управлінню ТМЗ і представлена на рис. 4.1.

Першим кроком $\boxed{1}$ розробки методики формування СУ в структурі СУ ТМЗ необхідно сформувати вихідні дані у вигляді множини фрагментів $S_{\text{ТрС}} = \{S_{\text{ТрС }1} \dots S_{\text{ТрС }k}\}$, на які розбита структура ТМЗ, та безлічі елементів ТМЗ

$N_{\text{ке}} = \{E_{T\text{рС}}, N_{\text{ТрС}}\}$, з метою визначення масштабу ТМЗ. Потім на кроці 2 формуються вихідні дані у вигляді:

– структури ТМЗ – $G_{\text{ТрС}}$

– безлічі параметрів елементів ТМЗ $P_{E\text{ТрС}} = \{P_{E\text{ТрС}1} \dots P_{E\text{ТрС}e}\}$

– нормативних значень до цих параметрів $NP_{E\text{ТрС}e} = \{NP_{E\text{ТрС}1} \dots NP_{E\text{ТрС}e}\}$ з можливістю подальшого вимірювання значень цих параметрів та оцінки стану ТМЗ. Параметри елементів ТМЗ представлені в таблиці 1.2 дисертації.

Процес на кроці $\boxed{3}$ включає вироблення результатів у вигляді безлічі типових несправностей $F_{OAM} = \{F_{OAMf}\}$, що формуються за допомогою механізмів ОАМ, наприклад, такі невідповідності, як втрата зв'язності маршруту мережі або втрата двонаправленої зв'язності вузла мережі, які фіксуються за допомогою механізму періодичної перевірки СЗМ.

Знаючи безліч елементів ТМЗ та зв'язку між ними, на кроці $\boxed{4}$ формується структура ТМЗ у вигляді множини фрагментів $S_{\text{ТрС}} = \{S_{\text{ТрС}1} \dots S_{\text{ТрС}k}\}$, у складі яких формуються класи елементів ТМЗ $N_{\text{ке}}$. На кроці $\boxed{5}$ формується архітектура ОАМ у вигляді доменів СЕ $M_{\text{ТрС}} = \{M_{\text{ТрС}1} \dots M_{\text{ТрС}7}\}$ для можливості формування процесів контролю та управління станами елементів ТМЗ та передачі керуючої інформації.

Далі згідно з кроком $\boxed{6}$ формується безліч вимог до МАСУ $N_{\text{МАСУ}} = \{Class_j^i, K, L, N, K_{\text{пр}}, O, T_{\text{упр}}^{\text{доп}}, K_{\text{скр}}, \text{Т}_{\text{г}}^{\text{доп}}, N_y, \text{Т}_{\text{моб}}, \text{Т}_{\text{обр}}^{\text{доп}}, \text{Т}_{\text{перех}}^{\text{доп}}\}$, де кожен елемент відповідає характеристиці СУ ТМЗ [15,16,18].

Розмаїття необхідних критеріїв до СУ наведено у розділі 1 дисертації (див. табл. 1.5). Основними класами вимог є структурно-топологічні та вимоги щодо функціонування СУ ТМЗ.

Відповідно до блоку 7 у кожному вузлі формується безліч блоків управління $A_k = \{A_{REGk}, A_{STATEk}, A_{STRk}\}$, в якому:

– A_{STRk} – формування нової конфігурації фрагмента ТМЗ;

– A_{STATEk}, – оцінка стану елементів фрагмента ТМЗ;

– A_{REGk} – реєстрація та аналіз подій, де k – це номер вузла МАСУ (Фрагмент ТМЗ).

Компонент A_{REGk} представляється як безліч $A_{REGk} = \{A_{REGk1}, \ldots, A_{REGke}\}$, яке містить e агентів МАСУ (елементів ТМЗ), що відображають інформаційний простір елементів k-го фрагмента ТМЗ.

На 8 кроці методики відповідно до математичної моделі процесу взаємодії вузла МАСУ та фрагмента ТМЗ, представленої в розділі 3 дисертації (див. рис. 3.1) [16,23,38,46], формується безліч повідомлень $C_{Ak} = (C_{Ak}^{внут}, C_{Ak}^{внут}, C_{Ak}^{ОАМ})$, за допомогою яких здійснюється передача керуючої та діагностичної інформації. Серед безлічі такихповідомлень виділяються три основні типи:

- $C_{Ak}^{внут}$ – повідомлення, що передаються між блоками управління у вузлі МАСУ;

- $C_{Ak}^{внут}$– повідомлення, що передаються між агентами вузла МАСУ та елементами фрагмента ТМЗ;

- $C_{Ak}^{ОАМ}$ – повідомлення реалізації механізмів ОАМ. При цьому кожен тип повідомлень включає підтипи у вигляді «запитів», «даних» та «повідомлень».

У 9 формується алгоритмічна структура процесу функціонування МАСУ ТМЗ СЕ $S_{пфМАСУ} = \{G_{ТрС}, A_{1\ldots8}, T_{ТрС}, F_{ТрС}, C_{Ak}, B_{МАСУ}, T_{0цу}\}$, яка описує взаємодія МАСУ та ТМЗ [81], де

– $G_{ТрС} = \{S_{ТрС}, N_{ке}\}$ – структура ТМЗ;

– $S_{ТрС}$ – фрагменти ТМЗ;

– $N_{\text{ке}} = \{E_{\text{ТрС}}, N_{\text{ТрС}}\}$ - класи елементів ТМЗ;

– $E_{\text{ТрС}}$– вузли ТМЗ;

– $N_{\text{ТрС}}$ – лінії ТМЗ;

– $A_{1...8}$ – сукупність станів процесів функціонування МАСУ ТМЗ;

– $T_{\text{ТрС}}$– вартість обладнання ТМЗ СЕ;

– $F_{\text{ТрС}}$ - ресурси ТМЗ на базі ТКС;

– $B_{\text{МАСУ}} = \{D_{\text{ТрС}}, M_{\text{ТрС}}, A_k\}$ – база даних МАСУ ТМЗ;

– $D_{\text{ТрС}} = \{G_{\text{ТрС}}, P_{\text{ЕТрСе}}, NP_{\text{ЕТрСе}}\}$ – дані про ТМЗ та її елементів;

– $P_{\text{ЕТрСе}}$ – набір параметрів оцінки стану кожного елемента ТМЗ;

– $NP_{\text{ЕТрСе}}$ – нормативні значення параметрів для оцінки стану;

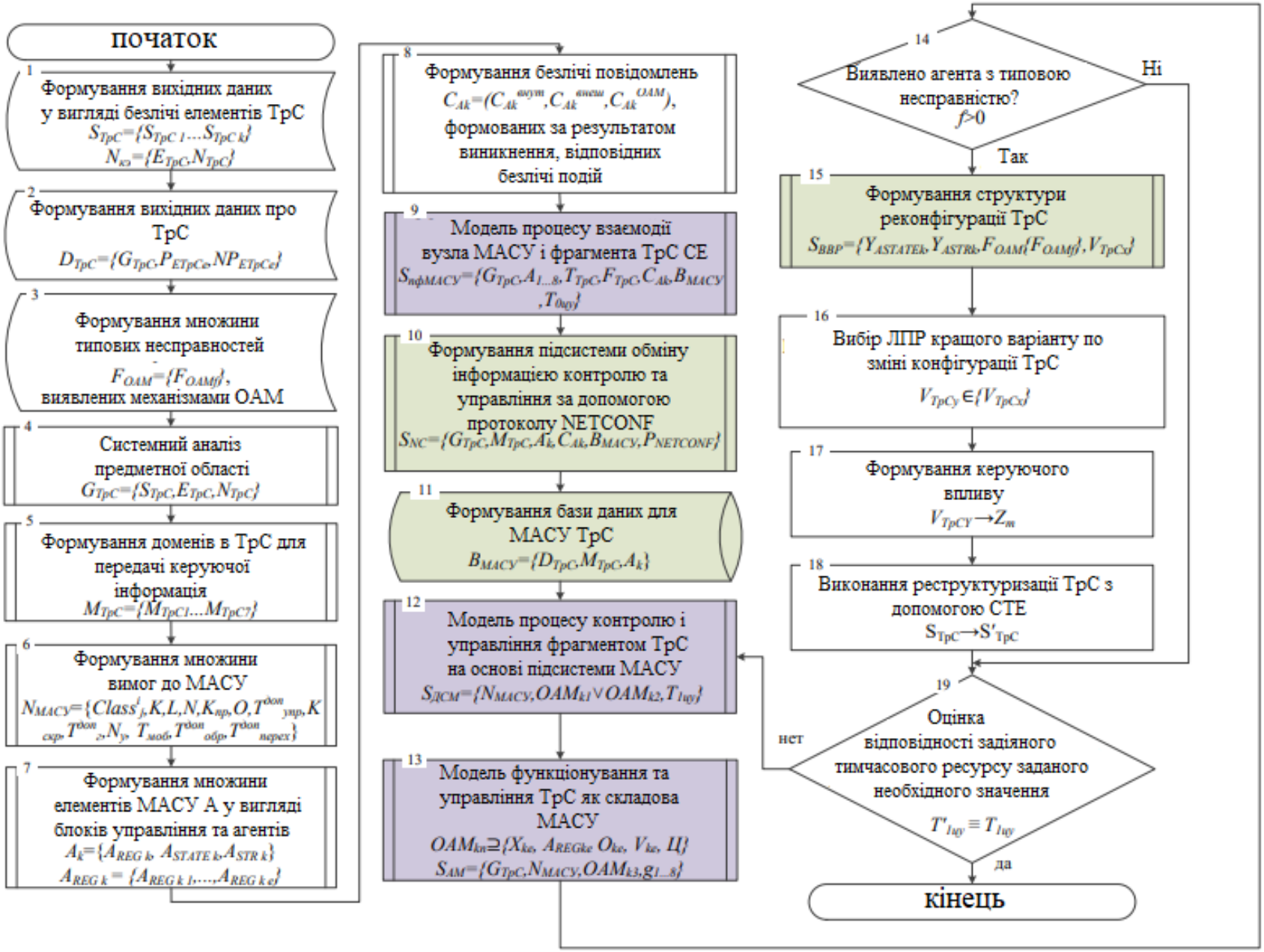


Рисунок 4.1. Алгоритмічна структура методики формування СУ ТМЗ СЕ

- $M_{\text{ТрС}}$– домени ТМЗ передачі керуючої інформації;

- A_k – безліч блоків управління $\{A_{STATEk}, A_{STRk}\}$ та агентів $\{A_{REGk}\}$ у вузлах МАСУ;

- $\text{T}_{0\text{цу}}$ – час реалізації циклу управління.

На $\boxed{10}$ кроці формується структура підсистеми обміну інформацією контролю та управління ТМЗ $S_{NC} = \{G_{\text{ТрС}}, \text{M}_{\text{ТрС}}, \text{A}_k, C_{Ak}, B_{\text{МАСУ}}, P_{NETCONF}\}$, де:

- $P_{NETCONF}$– структура протоколу NETCONF представлена на рис. 4.3.

На кроці $\boxed{11}$ формується база даних МАСУ ТМЗ у вигляді множини $B_{\text{МАСУ}} = \{D_{\text{ТрС}}, \text{M}_{\text{ТрС}}, \text{A}_k\}$. Інформацію у базі даних можна як специфікації MIB-II для елементів ТМЗ.

У блоках 12 та 13 формується структура імітаційних моделей процесу функціонування МАСУ ТМЗ СЕ [61,62]. Структура імітаційних моделей включає дві структури. Відповідно до першої структури на кроці $\boxed{12}$ формується безліч процесів для контролю та управління ТМЗ СЕ $S_{\text{ДСМ}} = \{N_{\text{МАСУ}}, \text{ОАМ}_{k1} \vee \text{ОАМ}_{k2}, \text{T}_{1\text{цу}}\}$, де:

- $\text{ОАМ}_{k1} \vee \text{ОАМ}_{k2}$– процеси контролю стану та управління елементами ТМЗ на підставі результату пошуку несправностей у зв'язковості маршруту та на підставі вхідної керуючої інформації від блоку МАСУ відповідно,

- $\text{T}_{1\text{цу}}$ – вихідні дані, що відображають тривалість виконання підпроцесів в $\text{ОАМ}_{k1} \vee \text{ОАМ}_{k2}$.

Структура дискретно-подійної моделі процесу функціонування МАСУ дає попередню оцінку тривалості циклу виконання поставлених завдань того чи іншого процесу ОАМ_{kn}. Відповідно до кроку 13 формується структура агентної моделі функціонування ТМЗ СЕ $S_{\text{АМ}} = \{G_{\text{ТрС}}, N_{\text{МАСУ}}, \text{ОАМ}_{k3}, g_{1\ldots8}\}$ у вигляді безлічі підпроцесів у тому чи іншому процесі $OAM_{kn} \supseteq \{X_{ke}, A_{REGke}, O_{ke}, V_{ke}, \text{Ц}\}$, де:

- X_{ke} – вхідні дані процесу у вигляді безлічі параметрів елементів ТМЗ та вимог до них,

- O_{ke} – безліч операцій поточного процесу у вигляді механізмів ОАМ, поданих у розділі 2 дисертації (див. табл. 2.3),

- V_{ke} – безліч обмежень і припущень моделі, у вигляді обмежень безлічі повідомлень, що передаються,

- Ц – ціль керування, відповідно до якої вибрано поточний процес. Агентна модель функціонування ТМЗ СЕ, представлена в розділі 3 дисертації (див. рис. 3.13), отримана на підставі роботи узагальненого процесу OAM_{k3}.

Відповідно до кроку 14, якщо виявлено хоч один агент з типовою несправністю F_{OAMf} при $f > 0$, то на кроці 15 формується структура процесу вибору варіанта реконфігурації ТМЗ $S_{\text{ВВР}} = \{Y_{ASTATEk}, Y_{ASTRk}, F_{OAM}\{F_{OAMf}\}, V_{\text{ТрС}x}\}$. Вона включає набір вихідних даних МАСУ таких як:

- $Y_{ASTATEk}$ та Y_{ASTRk}– дані оцінки стану елементів та дані щодо формування нової конфігурації k-го фрагмента ТМЗ,

- $V_{\text{ТрС}x}$ – формування безлічі планів заходів у процесі вироблення множини $S_{\text{ВВР}}$.

Структура процесу вибору варіанта реконфігурації ТМЗ проводиться згідно з моделлю пошуку глобального екстремуму на основі модифікованого методу відпалу [62,63]. У 16 здійснюється вибір ЛПР кращого варіанта плану заходів для реконфігурації ТМЗ $V_{\text{ТрС}y} \in \{V_{\text{ТрС}x}\}$. У 17 формується відповідний керуючий вплив Z_m на ТМЗ, а в 18 виконується реконфігурація ТМЗ за допомогою СТЕ.

Відповідно до кроку 19 запускається процес перевірки відповідність витраченого тимчасового ресурсу необхідному $T'_{1\text{цу}} \equiv T_{1\text{цу}}$. У разі, якщо виміряні значення параметрів відповідають необхідним, то вважається, що завдання, пов'язане з контролем та керуванням станом ТМЗ та її реструктуризацією, виконано, інакше на кроці 11 вибирається інший процес управління.

4.2. Оцінка якості функціонування системи управління транспортною мережею зв'язку

Ефективність функціонування СУ ТМЗ відображає властивості МАСУ виконувати поставлені завдання з контролю та управління станами мережі та формування рішень щодо зміни структури ТМЗ в умовах обмеженості обчислювальних та часових ресурсів.

Ефективність функціонування СУ ТМЗ можна оцінити за рядом показників, наприклад, оперативності отримання керуючої інформації та стійкості ТМЗ в результаті роботи МАСУ.

Для прийняття рішення щодо реструктуризації ТМЗ необхідно здійснити оперативне управління станами елементів ТМЗ. Під оперативністю управління розумітимемо здатність елементів системи управління ТМЗ виконувати необхідні операції у встановлені терміни [55,64,65]. Тоді показник оперативності отримання керуючої інформації з управління ТМЗ враховує тривалості складових його основних процесів, в якості якого можна прийняти час $T_{\text{упр}}$, що витрачається на управління.

Для першого етапу управління – планування, оцінка оперативності системи управління ТМЗ може бути представлена у вигляді [55,64,65]:

$$T_{пл} = t_{діаг} + t_{пді} + \sum_{i=1}^{3} t_{прі} + t_{оф} + t_{дов} \qquad (4.1)$$

де $t_{\text{діаг}}$ - час діагностування елементів ТМЗ внутрішніми та зовнішніми засобами діагностики; $t_{\text{пді}}$ - час передачі діагностичної інформації в систему управління ТМЗ; t_i – час прийняття рішення різних рівнях системи управління ТМЗ; $t_{\text{оф}}$ - час оформлення документів планування; $t_{\text{дов}}$ - час доведення керуючих впливів U_i

Для оперативного управління, яке, як правило, організується на основі ситуаційного принципу і за своїм характером відрізняється від планування,

оцінка оперативності системи управління ТМЗ може бути представлена у вигляді [55,64,65]:

$$T_{оу} = t_{діаг} + t_{пді} + \sum_{i=1}^{3} t_{прі} + t_{дов} \quad (4.2)$$

Відповідно до методології управління [55,64,65] всі складові виразів (4.2) і (4.3) розглядаються як математичні очікування відповідних випадкових величин. При розрахунку показників оперативності передбачається, що тривалість операцій є випадковою величиною з однаковим типом розподілу всім операцій. Як математичні очікування таких показників оперативності приймаються дані, отримані в імітаційних моделях у розділі 3 дисертації.

У таблиці 4.1 представлені результати моделі процесу контролю та управління станами фрагмента ТМЗ із 500 елементів, отримані за підсумками програмної реалізації експерименту в середовищі AnyLogic. Оптимістична оцінка є мінімально необхідний час для виконання операції (t_{min}), а песимістична задає максимальний час на виконання операції (t_{max}).

Таблиця 4.1

Тимчасові параметри моделі процесу у МАСУ

№	Підпроцес	Тривалість виконаннся підпроцесу, с		Математичне очікування(M), с	Дисперсія(D), с
		t_{min}	t_{max}		
1	перевірка цілісності маршрутів	0,9	1,2	27,5	30,25
2	перевірка двунаправленої зв'язності	1,1	1,3	30	36
3	локалізація несправностей	6,1	6,3	155	961
4	перевірка параметрів елементів мережі та передачі інформації в БД	1,3	1,6	36,25	52,50
5	сигналізація аварійного стану елементів мережі, оцінка стану маршруту	2,4	2,8	65	169
6	блокування індикації аварії на	1,8	1,9	46,25	85,5

	конфігуруючому фрагменті мережі				
7	контрольна перевірка параметрів та зв'язності маршруту	1	3,3	3,755	115,5
8	реконфігурація маршруту з використанням протоколу захисного переключення	4,2	4,5	108,75	472,5

Для визначення тривалості та дисперсії всього процесу управління, проводиться розрахунок відповідно до виразів:

$$T_{\text{упр}} = \sum_{i=1}^{n} M_j \tag{4.3}$$

$$D_{\text{упр}} = \sum_{i=1}^{n} D_j \tag{4.4}$$

Вираз (4.3) є частиною оперативного управління (4.2) та розраховується відповідно до даних таблиці 4.1:

$$T_{\text{упр}} = 27{,}5 + 30 + 155 + 36{,}25 + 65 + 46{,}25 + 53{,}75 + 108{,}75 \approx 522{,}5 \tag{4.5}$$

$$D_{\text{упр}} = 30{,}25 + 36 + 961 + 52{,}50 + 169 + 85{,}5 + 115{,}5 + 472{,}5 \approx 1922{,}25 \tag{4.6}$$

З визначення якості оперативності, ще однією важливою характеристикою функціонування системи управління ТМЗ є можливість, що тривалість управління має перевищити допустиме час, тобто $p(T_{\text{упр}} \leq T_{\text{упр}}^{\text{доп}})$

Розрахунок цього показника здійснюється за формулою [55,64,65]:

$$p(T_{\text{упр}} \leq T_{\text{упр}}^{\text{доп}}) = \Phi\left[\frac{T_{\text{упр}}^{\text{доп}} - T_{\text{упр}}^{\text{р}}}{\sigma}\right] \tag{4.7}$$

де Ф - функція нормального розподілу виду

Знаючи, що $T_{\text{упр}}^{\text{доп}} = 1200$ с і за формулою 4.7 розрахуємо ймовірність того, що час керування $T_{\text{упр}}$ не перевищить допустимого $T_{\text{упр}}^{\text{доп}}$ [64,65]:

$$P(T_{\text{упр}} \leq T_{\text{упр}}^{\text{доп}}) = \Phi\left[\frac{1200 - 522.5}{1922.25}\right] = 0.7 \tag{4.7}$$

Застосування дискретно-подійної моделі, представленої в розділі 3 дисертації (див. рис. 3.1-3.1), забезпечує формування процесів керування станами ТМЗ, що визначають терміни початку та закінчення кожного

підпроцесу з управління ТМЗ. На рис. 4.2 представлені графіки ймовірностей розподілу функцій випадкових величин (тривалості виконання процесу) для СУ із застосуванням МАСУ та без неї.

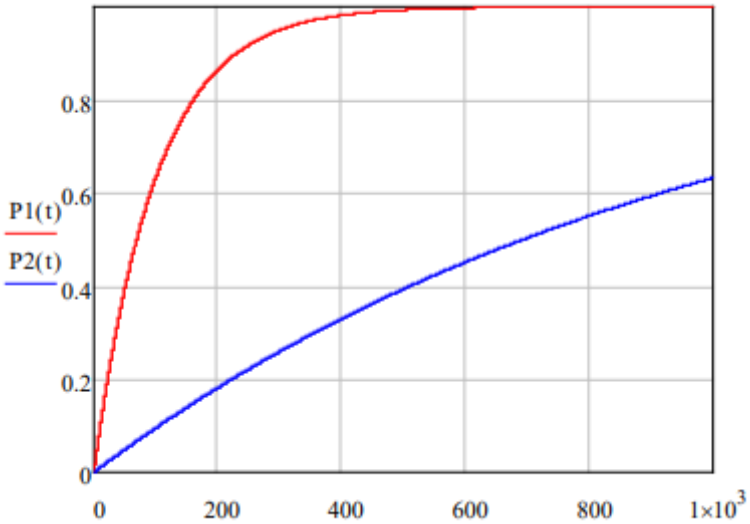


Рисунок 4.2. Імовірність розподілу тривалості процесу ОАМ_{kn} для СУ із застосуванням МАСУ (при $T_{\text{упр}}^{max}$=25 с) та без неї при ($\text{T}_{\text{упр}}^{\text{доп}}$=1200 с)

За графіками видно, що з максимальною ймовірністю (понад 0,7) у СУ із застосуванням МАСУ тривалість управління (відповідно до обраного процесу ОАМ_{kn}) не перевищить 150 с. При цьому значення допустимої тривалості виконання даних процесів у існуючій СУ без застосування МАСУ сягає 1200 с.

Отримані результати тривалості циклу управління із застосуванням МАСУ, реалізованої, на основі технології СЕ, дозволяє не тільки оперативно (з ймовірністю понад 0,7) виконувати процеси управління та контролю. станами ТМЗ, але й дозволяє забезпечувати своєчасну доставку керуючої інформації для подальшого формування безлічі рішень по реконфігурації ТМЗ, що загалом свідчить про досягненні поставленої мети цього дослідження підвищення оперативності функціонування СУ ТМЗ [66,67].

Методика з побудови МАСУ у складі СУ ТМЗ відрізняється від відомих застосуванням комплексу оригінальних моделей [6,16,23,38,46,67] та науково-технічних пропозицій (блоки 10 та 14 на рис. 4.1), що дозволяють

формувати СУ ТМЗ СЕ, що відповідає вимогам щодо оперативності реалізації циклу управління та дозволяє мінімізувати фінансові та технічні ресурси для її реалізації [68,69,70].

Подана методика формалізує підхід до побудови СУ ТМЗ застосуванням механізмів на основі технології СЕ. Блок 6, що входить до складу методики, на рис. 4.1 дозволяє формувати вимоги до окремих підсистем СУ, їх призначення та складу. Окремі блоки методу можуть застосовуватись на етапах планування та проектування перспективної СУ [69,70].

Отримані результати тривалості циклу управління із застосуванням МАСУ, сформованої з урахуванням технології Carrier Ethernet, використовувалися з метою оцінки ефективності функціонування розробленої методики. Отриманий результат дозволяє не тільки оперативно (з ймовірністю 0,7 в порівнянні з допустимим значенням часу управління на типовій ТМЗ виконувати процеси управління та контролю станами ТМЗ, а й забезпечувати своєчасну доставку керуючої інформації для подальшого формування безлічі рішень щодо реконфігурації ТМЗ. Загалом це говорить про досягнення поставленої мети роботи щодо підвищення оперативності функціонування СУ ТМЗ.

4.3. Науково-технічні пропозиції щодо формування системи управління транспортною мережею зв'язку

4.3.1. Формування бази даних системи керування транспортною мережею зв'язку на основі стандартних наборів контрольованих об'єктів.

Формування бази даних (БД) СУ ТМЗ проводитиметься на основі набору контрольованих об'єктів (Management Information Base – MIB), який надає інформацію про пристрої ТМЗ. MIB має деревоподібну структуру, і

кожен об'єкт у ній характеризується унікальним ідентифікатором об'єкта (Object Identifier, OID) [66,67].

Таким чином, СУ ТМЗ за допомогою MIB ідентифікує інформацію, яку можна запросити у агента і характеризує той чи інший об'єкт [62,63].

Основне завдання MIB-II полягає в тому, щоб надати загальну керуючу інформацію TCP/IP, але не охоплює всі можливі об'єкти, якими виробнику може знадобитися керувати в конкретному пристрої.

Цей стандарт визначає змінні для таких параметрів, як статистика інтерфейсу (швидкість інтерфейсу, кількість відправлених пакетів, кількість прийнятих октетів і т.д.), а також різних параметрів, що належать до самої системі (місце розташування системи, контактні відомості тощо).

Кожен мережевий вузол, що має SNMP агента, надає свій набір даних із строго позначеним набором змінних. Кожна гілка MIB-ієрархії закінчується деякою змінною (так само має свій OID), що містить у собі певне значення, що записується в змінну SNMP агентом [66,67].

Структура ідентифікаторів змінних MIB для виділених класів (ліній, систем передачі, елементів) ТМЗ представлена малюнку 4.4.

Основні характеристики комутатора представимо у вигляді об'єктів MIB-II таблиці 4.3, що використовуються як вихідні дані при розробці методики СУ ТМЗ для вирішення завдання оперативного управління в умовах великого масштабу мереж, подана у розділі 4.1.

Таблиця 4.3

Опис груп змінних, що відображають характеристики та параметри пристроїв (комутаторів) ТМЗ як елементів бази даних MIBII

Ідентифікатор	Ім'я об'єкту	Примітка
1.3.6.1.4.CE.3.2.1	ETH-LM	Вимірювання втрат в кадрі
1.3.6.1.4. CE.3.2.2	ETH-DM	Затримка кадра
1.3.6.1.4. CE.3.2.3	Frame delay variation	Вимірювання затримка кадру
1.3.6.1.4. CE.3.2.4	Availability	Доступність
1.3.6.1.4. CE.3.2.5	Throughput	Пропускна здатність
1.3.6.1.4. CE.3.2.6	Synthetic loss	Вимірювання втрат
1.3.6.1.4. CE.3.2.7	CCM	Перевірка цілісності

1.3.6.1.4. CE.3.2.8	LBR	Перевірка зв'язності
1.3.6.1.4. CE.3.2.9	LTR	Локалізація
1.3.6.1.4. CE.3.2.10	Fault signaling	Сповіщення про виявлені несправності

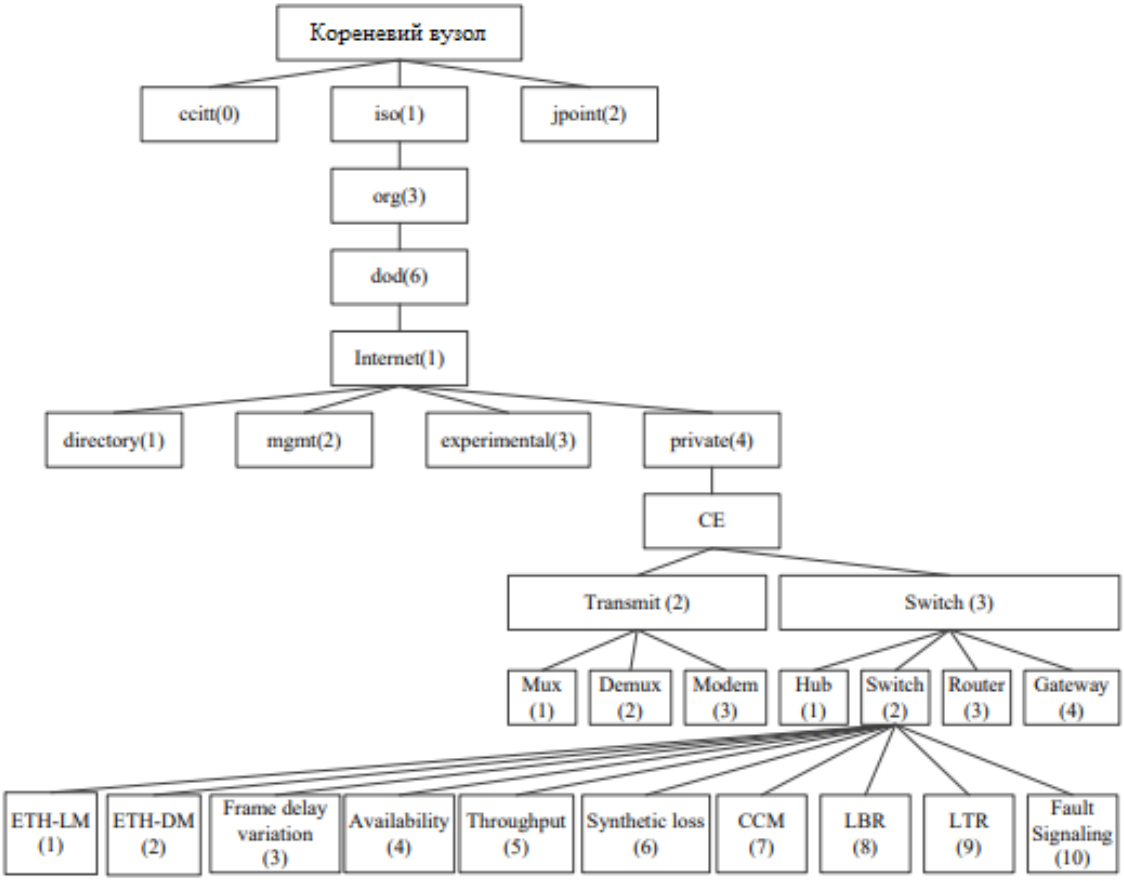


Рис. 4.4. Фрагмент ієрархічної структури змінних, що включає групи змінних для управління ТМЗ на основі технології CE

4.3.2. Пропозиції щодо формування структури процесу вироблення варіантів реконфігурації фрагмента ТМЗ

Відповідно до розробленого алгоритму методики формування СУ ТМЗ після виконання імітаційного моделювання та роботи процесів контролю та управління станом ТМЗ вирішується завдання реконфігурації у разі виявлення хоча б однієї типової несправності [1,3,68].

Відомо, що вхідними даними для блоку формування структури процесу реконфігурації ТМЗ (див. рис. 4.1) є результати роботи таких структурних

елементів МАСУ як блок оцінки стану ($Y_{ASTATEk}$) та блок зміни конфігурації маршрутів (Y_{ASTRk}). Вихідними даними процесу реконфігурації ТМЗ є безліч варіантів зміни конфігурації k-го фрагмента ТМЗ.

Допустимо є A_{REGke} агентів в k-му вузлі МАСУ, що контролює і керуючим k-им фрагментом ТМЗ. За умови, що структура доменів СЕ сформована і в поточному фрагменті ТМЗ існує T_{rkg} маршрутів, припустимо, що існує три стани елементів ТМЗ, які кожен агент здатний враховувати для оцінки стану зв'язування маршруту та агента МАСУ: справний (стан зв'язки «1»), несправний (стан зв'язки «0») або не має конфігураційних налаштувань у поточному домені або маршруті («not found»). Тоді всі дані про стан елементів ТМЗ будуть відображатися в таблиці міжагентних зв'язків, що наведена на рис. 4.5.

	Безліч агентів к-го вузла				
Класифікація елемента ТрС в доменах СЕ	МЕР-кінцевий елемент домена / МІР-проміжний елемент домену				
Безліч маршрутів k-го фрагмента ТрС		A_{REGk1}	A_{REGk2}	…	A_{REGke}
	Tr_{k1}	1 / not found	not found / 0		1 / not found
	Tr_{k2}	1 / 0	0 / 1		1 / not found
	…				
	Tr_{kg}	1 / 0	1 / 0		not found / 0

Рисунок 4.5. Приклад таблиці міжагентних зв'язків

Кожному вузлу МАСУ відповідає таблиця міжагентних зв'язків, характеризує приналежність агента (елемента ТМЗ) до маршруту та призначення пристрою у відповідному домені Се (МІР – кінцеве) пристрій, МІР – проміжний пристрій). У разі, якщо не виявлено конфігураційне

налаштування у агента в деякому маршруті або домені, таблиці дома стану зв'язки встановлюється запис «*not found*».

Таким чином, можна сформулювати завдання для модуля формування зв'язкового маршруту та блоку формування конфігурації ТМЗ на оперативно-технічному рівні трирівневої ієрархічної моделі СУ ТМЗ (див. рис. 2.3): пошук зв'язкового маршруту у вузлі МАСУ у вигляді безлічі варіантів зв'язок типу $\{T_{rk\psi}, A_{REGk\xi}\}$ на підставі даних, отриманих в результаті оцінки стану фрагмента ТМЗ (рис. 3.14 та рис. 3.15) та в результаті оцінки тривалості циклу управління (рис. 3.5 та рис.3.6).

Аналіз існуючих підходів до визначення структури реконфігурації показав, що для цього рішення необхідно застосовувати метод, який полягає в знаходженні безлічі зв'язок для сукупності пари агента та маршруту, з наступним рішенням задачі оцінки тривалість циклу управління $T_{1\text{цу}}$, що дозволяє дати обґрунтований вибір зв'язки з безлічі рішень $V_{\text{ТрС}x}$. Вирішення поставленої задачі можливе з використанням моделі пошуку глобального екстремуму з урахуванням модифікованого методу відпалу [30,31,40,69,70]. Відмінною рисою даного методу є наявність випадкового характеру вибору варіантів рішення замість їхнього послідовного аналізу. Такий спосіб пошуку цільової функції є найбільш ефективним тому, що дозволяє скоротити тривалість циклу реконфігурації ТМЗ – $T_{\text{цр}}$. У рамках поточного дослідження, спрямованого отримання моделей процесів управління великомасштабними мережами зв'язку на основі агентного способу, метод відпалу дозволить оперативно отримати безліч зв'язок для пошуку зв'язкових маршрутів.

Метод відпалу ґрунтується на оперуванні такими термінами, які відносяться до фізичних термінів: «температура» як характеристика кількості варіантів зв'язок; "термодинамічна ймовірність" як характеристика зміни "температури"; "енергія" як характеристика цільової функції.

Таким чином, знаходження структури реконфігурації ТМЗ методом відпалу є найбільш прийнятним методом для практичних цілей.

4.4. Висновки по розділу

1. З використанням розробленої концептуальної моделі СУ ТМЗ сформовано методику формування СУ ТМЗ з метою підвищення оперативності управління ТМЗ на основі технології СЕ.

Методика містить три взаємопов'язані укрупнені блоки, де формуються алгоритмічна структура процесу функціонування МАСУ ТМЗ $S_{\text{пфМАСУ}}$, структури імітаційних моделей (ІМ) процесів контролю та управління станом ТМЗ $S_{\text{ДСМ}}$ і $S_{\text{АМ}}$, структура процесу вироблення рішень щодо зміни конфігурації ТрС $S_{\text{ВВР}}$.

2. Методика призначена для формування МАСУ ТрС при проектуванні та розроблення СУ ТрС. Мета розробки методики полягає у забезпеченні оперативності управління ТрС для забезпечення стійкого її функціонування.

3. Для оцінки ефективності отриманих у роботі рішень щодо формуванню СУ ТМЗ запропоновано використовувати показник оперативності управління. У рамках роботи під оперативністю розуміється здатність СУ ТМЗ виконувати процеси контролю та управління станами ТМЗ встановлені терміни. Для розрахунку використовувалися дані дискретно-подійної моделі. Розрахована ймовірність того, що час керування не перевищить допустимого значення (прийнятого за 20 хв), проводилася за законом нормального розподілу. Отримана ймовірність склала 0.7, що говорить про досягненні поставленої мети дисертації.

4. Розроблено науково-технічні пропозиції щодо формування системи управління ТМЗ, які включають аналіз та обґрунтування можливості застосування програмованого протоколу віддаленої мережі елементів ТМЗ і формування бази даних елементів ТМЗ на основі стандартних наборів контрольованих об'єктів, а також формування структури процесу вироблення варіантів рішень щодо реконфігурації фрагмента ТМЗ.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішено актуальне наукове завдання щодо підвищення ефективності функціонування системи управління транспортною мережею зв'язку на технологічному та оперативно-технічному рівнях керування.

1. Здійснено аналіз та класифікацію основних видів систем управління типовими транспортними мережами зв'язку. Вbзначені їх недоліки та переваги.

2. Проведено аналіз основних властивостей систем управління транспортною мережею зв’язку. Визначено ті з них, які суттєво впливають на якість функціонування системи управління.

3. Подано результати аналізу архітектури системи управління типовою транспортною мережею зв’язку. Визначені її особливості та перспективні напрямки удосконалення з врахуванням сучасних вимог.

4. Розглянуть особливості та обгруновано використання технології Carrier Ethernet для побудови перспективної системи управління транспортною мережею зв’язку.

5. Визначені особливості СУ ТМЗ та її можливості щодо функціонування за призначенням.

В якості цілі функціонування СУ ТМЗ запропоновано оперативність функціонування ТМЗ в умовах високої динаміки зміни станів з врахуванням особливостей СЕ.

6. Подано трирівневу концептуальну модель системи управління ТМЗ з вказівкою ролі та місця МАСУ. Вказана модель визначає:

- рівень операційного управління;
- рівень оперативно-технічного управління;
- технологічний півень управління.

8. Розроблено математичну модель процесу взаємодії вузла МАСУ та фрагмента ТМЗ, в основі якої лежать отримані процеси (алгоритми) контролю та управління станом мережевих елементів. Отримані результати моделювання дозволяють укрупнено оцінити час, що витрачається на обробку повідомлень у МАСУ, залежно від різних характеристик технічної

підсистеми. Результат, отриманий у ході моделювання взаємодії МАСУ та ТМЗ є вихідним для подальшого імітаційного моделювання процесів управління станом ТМЗ СЄ з метою оцінки тривалості всього циклу управління та відповідності даних показників необхідним навчанням. Також отриманий результат дозволяє розробити низку вимог для перспективної СУ ТМЗ для обґрунтованого вибору часу обробки повідомлень у рамках процесів контролю та управління станом мережевих елементів СЕ.

9. На основі розробленої концептуальної моделі СУ ТМЗ виділено підмножину незалежних підпроцесів, на основі яких сформовано три ключові процеси управління, що виконуються в МАСУ для досягнення різних цілей та завдань управління.

Для виділених процесів управління ТМЗ розроблені алгоритми:

- процес контролю фрагмента ТМЗ та управління за результатами пошуку відхилень OAM_{k1},

- процес контролю фрагмента ТМЗ та управління за результатами інформування МАСУ OAM_{k2},

- узагальнений процес контролю та управління станом фрагмента ТМЗ OAM_{k3}.

10. Розроблено модель процесів контролю і управління фрагментом транспортної мережі зв'язку на основі підсистеми мультиагентної системи управління.

Запропонована модель дозволила отримати оцінку тимчасових характеристик (ТХ) процесів функціонування ТМЗ залежно від ТХ окремих підпроцесів управління ТМЗ, оцінку динаміки зміни стану фрагмента ТМЗ. Це, у свою чергу, дозволяє формувати оцінки мережевої надійності та відмовостійкості, а також на етапах планування та проектування оцінювати відповідність перспективної МАСУ вимогам щодо оперативності виконання циклу управління, а у разі невідповідності цим вимогам формувати обґрунтовані рекомендації щодо зміни ВХ окремих підпроцесів.

7. Розроблено модель функціонування та управління транспортної мережі зв’язку як складова мультиагентної системи управління. У моделі враховуються два стани всіх агентів: справне та несправне з урахуванням

надійності та готовності до функціонування кожного агента. У цьому модель дозволяє розширювати кількість станів агента.

8. Розроблено методику формування системи управління транспортною мережею зв’язку яка, при умові застосування МАСУ дозволяє з ймовірністю 0.7 та вище в 7 та більше разів скоротити час на цикл процесу управління.

Отримані результати тривалості циклу управління із застосуванням МАСУ, сформованої з урахуванням технології Carrier Ethernet, використовувалися з метою оцінки ефективності функціонування розробленої методики. Отриманий результат дозволяє не тільки оперативно (з ймовірністю 0,7 в порівнянні з допустимим значенням часу управління на типовій ТМЗ виконувати процеси управління та контролю станами ТМЗ, а й забезпечувати своєчасну доставку керуючої інформації для подальшого формування безлічі рішень щодо реконфігурації ТМЗ. Загалом це говорить про досягнення поставленої мети роботи щодо підвищення оперативності функціонування СУ ТМЗ.

9. Розроблено науково-технічні пропозиції щодо формування системи управління ТМЗ, які включають аналіз та обґрунтування можливості застосування програмованого протоколу віддаленої мережі елементів ТМЗ і формування бази даних елементів ТМЗ на основі стандартних наборів контрольованих об'єктів, а також формування структури процесу вироблення варіантів рішень щодо реконфігурації фрагмента ТМЗ.

Виходячи з отриманих в дисертаційній роботі на тему “Методика формування системи управління транспортною мережею зв'язку” нових наукових і практичних результатів, сукупності публікацій у фахових виданнях України та закордоном, реалізації та апробації мета дисертаційної роботи досягнута, науково-прикладне завдання вирішене.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Воробієнко П. П., Нікітюк Л. А., Резніченко П. І. Телекомунікаційні та інформаційні мережі. К.: САММІТ-Книга, 2010. 708 с.: іл.
2. Довгий С.А. , Копейка О. В., Поленок С. П., Стрижак А. Е. Новые технологии в телекомуникации: Планирование сервисных пакетов Интернет-услуг. Методика бизнес-планирования / Под ред. С.А. Довгого. – К.: Укртелеком, 2001. – 240 с.
3. Довгий С.О., Савченко О.Я., Воробієнко П.П. та ін. Сучасні телекомунікації: мережі, технології, економіка, управління, регулювання / За ред. С.О. Довгого. – К.: Український Видатничій Центр, 2002. – 520 с.
4. Р. Хращевський, О. Іванець О. Жарова Математична модель прийняття рішень на основі багатопараметричного критерію. Наукоємні технології, №4 (52), 2021. С. 365 – 370.
5. Бенета, Э.В. Формирование требований и обоснование выбора системы управления для телекоммуникационных сетей / Э.В. Бенета, А.К. Канаев // Международный союз ученых «Наука. Техника. Производство», вып. 3(7) – 2015 – С. 8-11.
6. Логин, Э.В. Методика построения системы управления транспортной сетью связи / Логин Э.В., Муравцов А.А. // T-Comm – Телекоммуникации и транспорт, вып. 3, 2018. – С. 69-74.
7. Бенета, Э.В. Сравнение и оценка существующих концепций построения систем управления телекоммуникационными сетями [Электронный ресурс] / Сборник научных статей 68-й региональной конференции «Студенческая весна – 2014» СПб.: СПбГУТ, 2014. – С. 36-40.
8. Овладевая ITIL / Р. Ингланд. – Москва: Лайвбук, 2011. – 132 с.
9. 19. ГОСТ ИСО 9001: 2011 Системы менеджмента качества. Требования. – М.: Стандартинформ, 2013. – 36 с.
10. 20. ГОСТ ИСО 20000-1:2005 Информационные технологии. Менеджмент услуг. Часть 1. Технические требования. – М.: Стандартинформ, 2013. – 24 с.
11. Кітура О. В., Колодяженський Б. М., Тушич А. М., Інтеграція IoT у сферу логістики. Звя'зок. №2(150), С. 28-29, 2021. DOI: 10.31673/2412-

9070.2021.022829.

12. МСЭ Т Recommendation Y.1731. Operation, administration and maintenance (OAM) functions and mechanisms for Ethernet-based networks//August 2015.

13. МСЭ Т Recommendation Y.1731: Operation, administration and maintenance (OAM) functions and mechanisms for Ethernet-based networks. Corrigendum 1//March 2018.

14. Кітура О. В., Беркман Л. Н., Дакова Л. В., Даков С. Ю., Блаженний Н. В., Полонський К. В. Дослідження когнітивних методів керування інфокомунікаціями в умовах невизначеності. Звя'зок. №4(152), С. 7-13, 2021. DOI: 10.31673/2412-9070.2021.040713.

15. Oleh Kitura, Konstiantyn Polonskyi «Analysis of the main properties of transport network management systems», ICT infrastructure as a basis forndigital economy:ITU Workshop for Europe and CIS Region, Ukraine, Kyiv, 15 December 2021. P. 61-62.

16. Туровський О, Кітура О., Міщенко А., Клобуков В., Полонський К. Перспективна структура мультиагентної системи управління транспортною мережею зв'язку на основі технології CARRIER ETHERNET. Наукоємні технології. №1 (54), С. 23-34, 2022.

17. Аулін В. В., Гриньків А. В., Головатий А. О., Лисенко С. В., Голуб Д. В., Кузик О.В., Тихий А. А. Методологічні основи проектування та функціонування інтелектуальних транспортних і виробничих систем: монографія під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2020. 428с. ISBN 978-617-7813-27-8.

18. Stein, Ya. (J.) Ethernet vs. MPLS-TP in Access Networks / The access company – RAD data communications.

19. Системи управління версіями. URL: http://goo.gl/VBxMa (дата звернення 15.04.2022).

20. Kravari K., Bassiliades N. A survey of agent platforms. Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2015. Vol. 18. P. 11.

21. Gilbert N., Hamill L. Agent-Based Modelling in Economics.1st edition. Wiley Publishing, 2016. 256 p.

22. Wooldridge, Michael. (2004). An Introduction to Multi-Agent Systems. J. Artificial Societies and Social Simulation. 7. 10.1007/978-3-642-01904-3_2.

23. Кітура О. В., Яковенко Н. Д., Сторчак К. П., Звенігородський О. С., Бєлкін Ю. О., Математичне моделювання динамічних зв’язаних процесів на основі скінченно-елементної методики. Звя'зок. №3(151), С. 35-38, 2021. DOI: 10.31673/2412-9070.2021.033538

24. Павленко В. М. Мультиагентний підхід при побудові інтелектуальної системи технічного обслуговування і ремонту автомобіля. Автомобільний транспорт. 2017. №41, с. 43-48.

25. Movahedi, Zahra & Bastanfard, Azam. (2021). Toward competitive multi-agents in Polo game based on reinforcement learning. Multimedia Tools and Applications. 80. 10.1007/s11042-021-10968-z.

26. Швець А. В. Мультиагентна система управління транспортними ресурсами. Сучасні проблеми науки. Тези доп. XXI Міжнар. наук.-практ. конф. здобувачів вищ. освіти і молодих учених (5-9 квіт. 2021 р. м. Київ.). С. 128-130.

27. Skobelev P., Paulo Leitão, Stamatis Karnouskos (Ed.). Multi- Agent Systems for Real Time Adaptive Resource Management. In Industrial Agents: Emerging Applications of Software Agents in Industry. Elsevier, 2015. P. 207–230.

28. Gharbi A., Gharsellaoui H. and Ben Ahmed S. Multi-Agent control system. 2014 9th International Conference on Software Engineering and Applications (ICSOFT-EA). 2014. pp. 117-124.

29. Fei Chen and Wei Ren On the Control of Multi-Agent Systems: A Survey. Foundations and Trends® in Systems and Control. 2019. Vol. 6. No. 4, pp 339-499. http://dx.doi.org/10.1561/2600000019.

30. Литвин В. В. Мультиагентні системи підтримки прийняття рішень, що базуються на прецедентах та використовують адаптивні онтології. Радіоелектроніка. Інформатика. Управління. 2009. № 2 (21). С. 120–126.

31. Коноваленко О. Є., Брусенцев В. О. Мультиагентні системи управління та підтримки прийняття рішень. Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер.: Машинознавство та САПР. 2019. № 1. С. 18-27.

32. Kardas G. Model-driven development of multiagent systems: A survey and evaluation. The Knowledge Engineering Review. 2013. Vol. 28. P. 479–503.

33. М. Луцький, О. Іванець, В. Шавшина. Інформаційна система оцінювання ймовірності виникнення ризикової події при прийнятті біомедичних рішень. Наукоємні технології, №1 (53), 2022. С. 41 – 48.

34. Щапов П. Ф., Іванець О. Б., Севрюкова О. С. Динамічні властивості часового ряду результатів біомедичних вимірів. Наукоємні технології. 2020. № 2(46). С. 236 –244. DOI: 10.18372/2310- 5461.46.14811.

35. Іванець О. Б., Морозова І. В. Назарчук М. А., Миколушко А. М. Іваницький Є. С., Синтез інформаційної системи діагностування складних об’єктів. Українській метрологічний журналу. 2020. №1 А. С. 50–51. DOI : 10.24027/2306-7 039.1A.2020.193279

36. Kuzmin V., Zaliskyi, M., Odarchenko, R., oth. Method of Probability Distribution Fitting for Statistical Data with Small Sample Size. 2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies, ACIT 2020 – Proceedings, 2020, pp. 221–224.

37. Solomentsev, O., Zaliskyi, M., Shcherbyna, O., Kozhokhina, O. Sequential Procedure of Changepoint Analysis during Operational Data Processing. Proceedings of 2020 IEEE Workshop on Microwave Theory and Techniques in Wireless Communications, MTTW 2020this link is disabled, 2020, Pp. 168–171, 9245068.

38. Логин, Э. В. Мультиагентный подход к формированию структуры системы управления транспортной сетью связи на основе технологии Carrier Ethernet / Э.В. Логин, А.В. Ануфренко, А.К. Канаев // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций а науке и образовании: сб. научн. ст. – СПб.: СПбГУТ, 2017. – Т. 2. С. 57-59

39. Toulis, Panos; Airoldi, Edoardo (2015). "Scalable estimation strategies based on stochastic approximations: classical results and new insights". Statistics and Computing. 25 (4): 781–795. doi:10.1007/s11222-015-9560-y. PMC 4484776. PMID 26139959.

40. Skobelev, P, 2011, ‘Multi-Agent Systems for Real Time Resource Allocation, Scheduling, Optimization and Controlling: Industrial Applications’ in fifth International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems, Toulouse, France, 2011, Springer, Berlin, vol. 6867, pp. 1-14.

41. Beneta E. V. & Kanayev A. K. The formation of failure control algorithms in telecommunication network, built on the basis of Carrier Ethernet technology. Informatsionniye tekhnologii na transporte. Sbornyk materialov sektsii

“Informatsionniye tekhnologii na transporte” Mezhdunarodnoy konferentsii “Regionalnaya informatyka–2016” [Information technologies on transport. Coll. papers of “Information technologies on transport” section of International conference “Zone-based informatics–2016”]. Saint Petersburg, PGUPS Publ., 2016, pp. 95–101.

42. Pryvalov A. A. Topological transformation model of stochastic networks and its application for telecommunication systems of the Naval Forces analysis. Saint Petersburg, VMA (Military Medical Academy) Publ., 2000, 166 p.

43. Beneta E. V., Sakharova M. A. & Kanayev A. K. Integrated mathematical operation process model of Carrier Ethernet intelligent control system. The 20th International conference on soft computing and measurements (SCM–2017). Book of reports. In 3 vol. Saint Petersburg, SPbGETU “LETI” Publ., 2017, vol. 2, pp. 282–285.

44. Sakharova M. A. The development of functioning models and the methods of decision support intelligent systems formation of data communication network management: Cand. diss: 05.12.13. Saint Petersburg, PGUPS Publ., 2015, 161 p.

45. Beneta E. V., Sakharova M. A. & Kanayev A. K. Connectionist model for the solution of tasks of transport telecommunication network technical diagnostics. The 19th International conference on soft computing and measurements (SCM– 2017). Book of reports. In 2 vol. Saint Petersburg, SPbGETU “LETI” Publ., 2016, vol. 1, pp. 226–228.

46. Кітура О., Полонський К., «Модель процесів контролю і управління фрагментом транспортної мережі зв'язку на основі підсистеми мультиагентної системи управління», Світ інформації та телекомунікації: XIII Наукова конференція студентства та молоді, Київ, 21 жовтня 2021 р., С. 115-116.

47. Shirzadeh Chaleshtari, A, Shadrokh, Sh, 2012, ‘A Branch and Bound Algorithm for Resource Constrained Project Scheduling Problem subject to Cumulative Resources’, World Academy of Science, Engineering and Technology, vol. 6, pp. 23-28.

48. Голяницкий И. А. Математические модели и методы в радиосвязи. под ред. Ю. А. Громакова. – М: Эко-Трендз, 2005. – 440 с.

49. Телекомунікаційні системи та мережі. Структура й основні функції. Том 1. / Поповський В.В., Лемешко О.В., Ковальчук В.К., Плотніков

М.Д., Картушин Ю.П. та інші. [Електронний ресурс]. – Х.: ХНУРЕ. 2018. Режим доступу – http://www.znanius.com/3534.html.

50. В.В. Козловський, О.Л. Туровський, В.Д. Кулінський «Формалізація вимог до системи управління телекомунікаційними мережами», Проблеми інформатизації та управління, Т. 2, №64, 2020. С.41-47. DOI: 10.18372/2073-4751.64.15148.

51. Богуш К.Ю., Богуш Ю.П., Шиян А.И. GPSS World Моделювання телекомунікаційних систем та мереж. Посібник для дипломного проектування . – ІСЗЗІ НТУУ КПІ, 2010

52. Мисриханов М.Ш. Инвариантное управление многомерными системами. Москва: Энерготомиздат, 2003. 236 с.

53. Боровков, А. А. Математическая статистика / А. А. Боровков. – Санкт-Петербург : Лань, 2010. – 704 с.

54. Леман Э. Теория точечного оценивания / Э.Леман. –Москва : Наука, 1991. – 448 с.

55. Телекомунікаційні системи та мережі. Структура й основні функції. Том 1. / Поповський В.В., Лемешко О.В., Ковальчук В.К., Плотніков М.Д., Картушин Ю.П. та інші. [Електронний ресурс]. – Х.: ХНУРЕ. 2018. Режим доступу – http://www.znanius.com/3534.html.

56. Oleh Kitura, Turovsky Oleksandr, Vadym Vlasenko, Nataliia Rudenko, Oleksandr Golubenko, Oleksandr Drobyk. Two-Time Procedure for Calculation of Carrier Frequency of Phasomodulated in Communication System, International Journal of Communication Networks and Information Security (IJCNIS),2021, Vol. 13, No. 3, pp. 382-387. DOI :10.54039/ijcnis.v13i3.5165.

57. Merle G., Roussel .-M., Lesage J.-J., Vayatis N. Analytical Calculation of Failure Probabilities in Dynamic Fault Trees including Spare Gates. – Proceedings of ESREL 2010 - European Safety a& Reliability Conference. September 2010.

58. Boudali H., Dugan J.B. A continuous-time Bayesian network reliability modeling, and analysis framework. - IEEE Transactions on Reliability, vol. 55, No. 1, March 2006, pp. 86-97.

59. Стрельников В.П., Федухин А.В. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем. – Киев: Логос, 2002. – 486 с.

60. Бенета, Э.В. Механизмы оценки состояния устройств в сетях с

технологией Carrier Ethernet / Э.В. Бенета, А.К. Канаев // 72-я межвузовская научно-техническая конференция СПбНТОРЭС им. А.С. Попова, посвященная Дню радио. Секция: «Телекоммуникации на железнодорожном транспорте», (труды конф.еренции 27-29.04.2017) – СПб.: 2017. – С. 240-241.

61. Бенета, Э.В. Анализ и обоснование выбора алгебры процессов для описания взаимодействия объектов телекоммуникационной сети / Э.В. Бенета, А.К. Канаев // 72-я межвузовская научно-техническая конференция СПбНТОРЭС им. А.С. Попова, посвященная Дню радио. Секция: «Телекоммуникации на железнодорожном транспорте», (труды конференции 27-29.04.2017) – СПб.: 2017. – С. 284-286.

62. Кирсанов, М.Н. Графы в Maple. Задачи, алгоритмы, программы. М.: Изд-во ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 168 с.

63. Барский, А.Б. Планирование параллельных вычислительных процессов. М.: Машиностроение, 1980. – 912 с.

64. System and Technologies of Digital Television: manual for graduate students. [Text]/ V.A. Loshakov, V.V . Popovsky , S.O. Saburova, I.S. Shostko, M.Y. Oshepkov, K.O. Popovskaya, L.I. Melnikova. Under the general editorship of Professor V.A. Loshakov – Kh: Company SMIT”, 2019. – 416 p.

65. Поповський В.В., Олійник В.Ф. Математичні основи управління і адаптації в телекомунікаційних системах: підручник. – Х .: ТОВ “Компанія СМІТ”, 2011. – 362 с.

66. Мауро, Д. Основы SNMP, 2-е издание / Д. Мауро, К. Шмидт.– СПб.: Символ-Плюс, 2012.– 520 с.

67. R. Enns, M. Bjorklund, J. Schoenwaelder, A. Bierman “Network Configuration Protocol (NETCONF)”, IETF RFC 6241, June 2011.

68. Теоретичні основи телекомунікаційних мереж: навч. посіб. /М.М. Климаш, Б.М.Стрихалюк, М.В.Кайдан. – Львів : вид-во УАД, 2011. – 496 с.

69. В.В. Клобуков, В.А. Рябоконь, С.О. Ермак, «Дослідження протоколів побудови маршрутів в мережах METRO ETHERNET». Матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції «АВІА-2011», Том 1, С. 5.72-5.76, 2011.

70. Richrd G. Lyons Understanding Digital Signal Processing, 2rd Edition. - Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 2004. - 688 p.

ДОДАТКИ

Додаток А

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з науково-педагогічно

роботи Державного університету

телекомунікацій

Л.Н. БЕРКМАН

«02» червня 2022 р.

АКТ

про реалізацію результатів дисертаційної роботи Кітури Олега Володимировича на тему: «Методика формування системи управління транспортною мережею зв'язку» в навчальному процесі Державного університету телекомунікацій

Комісія у складі: голови комісії – завідувача кафедри Телекомунікаційних систем та мереж доктора технічних наук, професора Заїки Віктора Федоровича та членів комісії – завідувача кафедри Мобільних та відеоінформаційних технологій кандидата технічних наук, доцента Руденко Наталії Вікторівни, професора кафедри Мобільних та відеоінформаційних технологій доктора технічних наук, професора Макаренко Анатолія Олександровича у період з 03 по 06 листопада 2022 року провела роботу по встановленню фактичного використання в навчальному процесі Державного університету телекомунікацій результатів дисертаційної роботи Кітури Олега Володимировича.

На основі поданої дисертаційної роботи та наукових статей комісія встановила, що в навчальному процесі Університету використовуються наступні результати:

–модель процесу взаємодії елемента транспортної мережі зв’язку і вузла мультиагентної системи управління;

–модель процесів контролю і управління елементом транспортної мережі зв'язку на основі підсистеми мультиагентної системи управління;

–модель функціонування та управління транспортної мережі зв’язку як складової мультиагентної системи управління.

–методику формування системи управління транспортною мережею зв’язку.

Результати наукових досліджень були використані на кафедрі Телекомунікаційних систем та мереж Навчально-наукового інституту телекомунікацій під час виконання науково-дослідної роботи на тему «Дослідження надійності телекомунікаційних мереж» (РК № 0114U000404, ДУТ, м. Київ) та в навчальному процесі Державного університету телекомунікацій при викладання навчальних дисциплін «Телекомунікаційні системи передачі даних», «Проектування телекомунікаційних систем та мереж».

Голова комісії:

Зав. кафедри

Телекомунікаційних систем та мереж

д. т. н., професор В.Ф. Заїка

Члени комісії:

Зав. кафедри

Мобільних та відеоінформаційних технологій

к. т. н., доцент Н.В. Руденко

Професор кафедри

Мобільних та відеоінформаційних технологій

д. т. н., доцент А.О. Макаренко