МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ЯРОВИЙ ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 004.02

ДИСЕРТАЦІЯ

МОДЕЛІ, МЕТОДИ ТА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ УПРАВЛІННЯ МОБІЛЬНИМИ АГЕНТАМИ НА ОСНОВІ МЕРЕЖЕЦЕНТРИЧНОГО ПІДХОДУ З ВИКОРИСТАННЯМ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОЇ ГРИ

Спеціальність 05.13.06 «Інформаційні технології»

Подається на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

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

Олександр ЯРОВИЙ

Науковий керівник:
ЗАВГОРОДНІЙ Валерій Вікторович,
доктор технічних наук, професор

Київ – 2024

АНОТАЦІЯ

Яровий О.В. Моделі, методи та інформаційна технологія управління мобільними агентами на основі мережецентричного підходу з використанням диференціальної гри. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 «Інформаційні технології». – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, 2024.

Одним із найважливіших завдань життєдіяльності сучасного суспільства, що суттєво забезпечує його розвиток та інтеграцію у світовому кіберпросторі, є вдосконалення та застосування ефективних систем управління об’єктами різного характеру, що дозволяє зменшувати роль людини в цих системах та підвищувати показники їх ефективності. Такими показниками, як правило, є стійкість системи, її живучість, надійність, неперервність, оперативність тощо, які можуть бути змінними в часі, бути залежними між собою та визначатись рядом зовнішніх факторів впливу. Забезпечення потрібних значень цих показників, що мають бути визначені граничними вимогами до конкретних систем управління з урахуванням їх особливостей призначення, дозволяє стверджувати про ефективність управління та роботи системи в цілому.

В залежності від застосування способів та засобів впливу на підконтрольні об’єкти системи управління поділяють на три великі класи:

неавтоматизовані системи управління, які працюють виключно за посередництвом людини;

автоматизовані системи управління, які працюють за участю людини в контурі управління;

системи автоматичного управління, які працюють без участі людини в контурі управління.

Всі три класи є еволюційними етапами розвитку систем управління, вдосконалення яких спрямовано в бік максимізації автоматизації цих систем та мінімізації ролі людини. Очевидно, що це можливо шляхом запровадження в сучасних системах управління ефективних інформаційних, комунікаційних та інформаційно-комунікаційних систем і технологій з належним рівнем розвитку та адекватністю щодо діючого стану безпеки в інформаційному та фізичному середовищах.

Зміст ефективності будь-якої системи управління доцільно розглядати в двох аспектах: результативності та економічності. Щодо першого – вершиною ефективності управління є здатність системи виконувати управлінські функції таким чином, щоб організація процесу максимально досягала своєї мети, оперативно реагуючи на зміни зовнішнього та внутрішнього середовища. Щодо другого аспекту, на відміну від результативності, ефективність системи управління полягає в здатності організації існувати та досягати поставленої мети з найбільш вдалим відношенням отриманих результатів і витрат.

Тому, дослідженню питань підвищення ефективності систем управління, що базуються на новітніх технологіях та підходах присвячено досить багато наукових праць українських вчених та вчених світу. Серед них є відомими праці В.Є. Мухіна, Ю.В. Кравченка, Г.А. Кучука, І.Ю. Субача, Я.І. Корнаги, В.А. Каплуна, Ю.В. Журавського, В.В. Вишнівського, І.В. Рубана, а також М. Чаухан, С. Латнер, В. Адве, М. Брукмен, А. Шикла, З. Шао, С. Леже, С. Монієр та ін.

Аналіз наукових праць показав, що на сьогоднішній день сучасні інформаційні, комунікаційні та інформаційно-комунікаційні системи та технології досягли досить високого рівня розвитку.

По-перше, вони поміж елементами системи управління дозволяють забезпечувати повнозв’язні мережі зв’язку. При цьому майже всі елементи мають фізичний доступ до середовища інформаційної взаємодії. Доступ же

до інформаційного середовища, де здійснюється різного характеру обробка даних, регулюється технологічними засобами.

По-друге, завдяки високій швидкодії, що викликано використанням сучасної малоємнісної елементної бази, інформаційні, комунікаційні та інформаційно-комунікаційні системи та технології надають можливість оперативно реагувати на зміни станів в об’єктах управління і приймати ефективні рішення.

По-третє, автоматизація обробки даних зі стану об’єктів управління дозволяє впровадження технологій щодо оптимізації прийняття рішення.

По-четверте, застосування технологій обробки, що забезпечують управління в частині обчислення формалізованого характеру дозволяють оптимізацію ієрархічності побудови системи управління тощо.

У порівнянні з централізованим та децентралізованим підходами, застосування мережецентричного підходу надасть можливість підвищити ефективність системи управління.

Проблемою управління мобільними агентами є те, що найчастіше застосовується централізоване управління, при цьому центр управління є вразливим елементом і, у випадку втрати зв’язку з ним, подальше управління є неможливим. Альтернативним варіантом управління є мережецентричний підхід, який дозволяє передавати управління іншому центру. Не дивлячись на те, що процесам управління присвячено досить великий об’єм праць вчених світу, мережецентричний підхід залишається не повною мірою опрацьованим.

Не розглянуті методи мережецентричного управління в динамічних системах, де контролюючими та підконтрольними об’єктами виступають мобільні агенти – рухомі об’єкти. Залишається не розглянутим метод мережецентричного управління з використанням диференціальної гри, який на основі рішення задач оптимізації у вигляді двох гравців може надати можливість ефективного управління в умовах невизначених збурень.

Завдяки здатності вільного пересування мобільних агентів в просторі мережецентричний підхід дозволяє підвищити ефективність управління, забезпечуючи не тільки задану результативність, економічність та оперативність, а й показники надійності, такі як: неперервність, стійкість та живучість. Залишились не вирішеними такі питання, як вплив зовнішніх завадо-факторів на показники ефективності мережецентричних систем управління та коригування цих показників з врахуванням нових дестабілізуючих факторів.

Таким чином, дисертація присвячена вирішенню важливого наукового завдання, що має технічну спрямованість в галузі інформаційних технологій, а саме: *розробка моделі, методу та інформаційної технології управління мобільними агентами на основі мережецентричного підходу з використанням диференціальної гри.*

Тема дисертаційної роботи і отримані нові наукові результати безпосередньо відповідають тематиці пріоритетних напрямів розвитку інформаційних технологій в Україні до 2023 року, у відповідності до Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» від 11 липня 2001 року, № 2623-III (зі змінами), а також Постанови Кабінету Міністрів України від 07 вересня 2011 року № 942 (в редакції постанови Кабінету Міністрів України від 09 травня 2023 року № 463) «Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2023 року».

Дисертаційна робота виконана відповідно до планів наукової та науково-технічної діяльності Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» і є частиною досліджень у межах науково-дослідних робіт:

«Оптимізація роботи веб-орієнтованих систем з великим набором даних» (державний реєстраційний № 0117U004913, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ), яку виконує кафедра інформаційних систем та

технологій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» з 2018 року;

«Методи управління гетерогенними розподіленими базами даних з динамічною структурою на основі мережецентричного підходу» (державний реєстраційний № 0121U109260, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ), яку виконує кафедра інформаційних систем та технологій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» з 2021 року.

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності функціонування систем управління на основі застосування мережецентричної організації взаємодії мобільних агентів з використанням диференціальної гри в умовах зростання впливу завадо-факторів середовища.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у такому:

1. Вперше розроблено модель системи передачі даних для забезпечення мережецентричного управління мобільними агентами. Розроблена модель ґрунтується на оптимізації системи передачі даних з блукаючим центром управління, що дозволяє забезпечити задану ефективність мережецентричного управління.

2. Вперше розроблено математичну модель моніторингу динамічного середовища мобільних агентів в умовах зростання впливу завадо-факторів. Розроблена модель базується на зростанні впливу завадо-факторів, що дозволяє створити систему моніторингу динамічного середовища мережецентричного управління мобільними агентами.

3. Вперше розроблено метод мережецентричного управління мобільними агентами з використанням диференціальної гри. Розроблений метод ґрунтується на основі вирішення задач оптимізації у вигляді двох гравців, що дозволяє реалізувати ефективне управління в умовах невизначених збурень.

4. Удосконалено інформаційну технологію управління мобільними агентами в динамічному середовищі з урахуванням мережецентричної організації їхньої взаємодії. Отримана інформаційна технологія відрізняється від існуючих тим, що вона побудована на основі мережецентричної організації взаємодії агентів з використанням диференціальної гри для управління ними в критичних умовах, що дозволяє створити ефективну систему мережецентричного управління мобільними агентами.

Розроблені модель системи передачі даних, математична модель моніторингу динамічного середовища мобільних агентів, метод мережецентричного управління мобільними агентами з використанням диференціальної гри та інформаційна технологія управління можуть бути використані в умовах підвищеного впливу завадо-факторів з метою забезпечення заданих показників ефективності. Проведені експериментальні дослідження та оцінювання показників управління з використанням розроблених моделей, методу та технології підтверджують ефективність їх застосування для побудови системи управління мобільними агентами. Результати виконаних розрахунків та оцінювань можуть стати основою для підготовки науково-технічних рішень щодо реалізації інформаційної технології мережецентричного управління мобільними агентами з використанням диференціальної гри на практиці.

Практичне значення результатів роботи підтверджено актами впровадження:

в конструкторському бюро інформаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського (акт від 26.05.2023);

в навчальний процес факультету інформатики та обчислювальної техніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» для студентів спеціальностей 126 «Інформаційні системи та технології та 121 «Інженерія програмного забезпечення» (акт від 16.06.2023);

у навчальний процес кафедри Військової підготовки Національного

технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» для студентів за військово-обліковою спеціальністю «Експлуатація та ремонт безпілотних авіаційних комплексів» (акт від 15.09.2023);

у навчальний процес кафедри комунікаційних технологій та кіберзахисту Національного університету оборони України (акт від 09.11.2023);

у навчальний процес кафедри «Спеціальних інформаційних систем та робототехнічних комплексів» Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут (акт від 01.11.2023).

Ключові слова: динамічне середовище, інформаційна технологія, мережецентричний підхід, мобільні агенти, управління.

ABSTRACT

Yarovyi O.V. Models, Methods and Information Technology for Managing Mobile Agents Based on a Network-centric Approach Using a Differential Game. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for the degree of Candidate of Technical Science in the specialty 05.13.06 “Information Technologies” – National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, 2024.

One of the most important tasks of the modern society life, which significantly ensures its development and integration in global cyberspace, is the improvement and application of effective control systems of objects of various nature, which allows reducing the role of humans in these systems and increasing their efficiency. Such indicators, as a rule, are the stability of the system, its survivability, reliability, continuity, efficiency, etc., which can be variable over time, be interdependent and determined by a number of external influencing factors. Ensuring the required values of these indicators, which must be determined by the limit requirements for specific control systems, taking into account their special purpose, allows us to assert the effectiveness of the management and operation of the system as a whole.

Depending on the application of methods and means of influence on controlled objects, control systems are divided into three large classes:

non-automated control systems that operate exclusively through human intervention;

automated control systems that operate with the participation of a person in the control circuit;

automatic control systems that operate without human intervention in the control loop.

All three classes are evolutionary stages of the control systems development, the improvement of which is aimed at maximizing these systems automation and minimizing the humans’ role. It is obvious that this is possible through the

introduction of effective information, communications and information-communications systems and technologies with the appropriate level of development and adequacy in relation to the current state of security in information and physical environments in modern control systems.

The content of the effectiveness of any control system should be considered in two aspects: effectiveness and economy. Regarding the first, the peak of management efficiency is the ability of the system to perform management functions in such a way that the organization of the process maximally achieves its goal, promptly responding to changes in the external and internal environment. Regarding the second aspect, in contrast to effectiveness, the effectiveness of the control system is the ability of the organization to exist and achieve the set goal with the most successful ratio of the obtained results and costs.

Therefore, quite a lot of scientific works of Ukrainian scientists and scientists of the world are dedicated to the study of issues of increasing the efficiency of control systems based on the latest technologies and approaches. Among them the works of V.E. Mukhin, Yu.V. Kravchenko, G.A. Kuchuk, I.Yu. Subach, Ya.I. Kornaga, V.A. Kaplun, Yu.V. Zhuravskyi, V.V. Vyshnivskyi, I.V. Ruban, as well as M. Chauhan, C. Latner, V. Adwe, M. Brookman, A. Shikla, Z. Shao, C. Leger, S. Monier, and others.

The analysis of scientific works showed that today modern information, communications and information-communications systems and technologies have reached high level of development.

First, they allow providing fully connected communications networks between the elements of the control system. At the same time, almost all elements have physical access to the environment of information interaction. Access to the information environment, where various types of data processing is carried out, is regulated by technological means.

Secondly, thanks to the high speed of operation caused by the use of a modern low-capacity elemental base, information, communications and information-communications systems and technologies provide an opportunity to

quickly respond to changes in the state of control objects and make effective decisions.

Thirdly, the automation of data processing from the state of control objects allows the introduction of technologies to optimize decision-making.

Fourthly, the use of processing technologies that provide management in the part of the calculation of a formalized nature allow optimization of the hierarchical construction of the control system, etc.

Compared to centralized and decentralized approaches, the use of a network-centric approach will provide an opportunity to increase the efficiency of the control system.

The problem of managing mobile agents is that centralized management is most often used, while the control center is a vulnerable element and, in case of loss of communication with it, further management is impossible. An alternative control option is a network-centric approach, which allows you to transfer control to another center. Despite the fact that a large volume of works by world scientists is devoted to management processes, the network-centric approach remains incompletely developed.

The methods of network-centric control in dynamic systems, where the controlling and controlled objects are mobile agents – moving objects, are not considered. The method of network-centric control using the differential game remains unconsidered, which, based on the solution of optimization problems in the form of two players, can provide the possibility of effective control in conditions of uncertain disturbances.

Due to the ability of mobile agents to move freely in space, the network-centric approach allows to increase the efficiency of management, providing not only the specified effectiveness, economy and efficiency, but also reliability indicators, such as continuity, stability and survivability. Issues such as the influence of external factors on the performance indicators of network-centric control systems and the adjustment of these indicators taking into account new destabilizing factors remain unresolved.

Thus, the dissertation is dedicated to solving an important scientific task that has a technical focus in the field of information technologies, namely: *development of a model, method and information technology of managing mobile agents based on a network-centric approach using a differential game*.

The theme of the dissertation work and the obtained new scientific results directly correspond to the topic of priority areas of information technologies development in Ukraine till 2023, in accordance with the Law of Ukraine “On priority areas of development of science and technology” dated July 11, 2001, No. 2623-III (with amendments), as well as Resolution No. 942 of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated September 7, 2011 (as amended by Resolution No. 463 of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated May 9, 2023) “On approval of the list of priority thematic areas of scientific research and scientific and technical development for the period till 2023”.

The dissertation work was carried out in accordance with the plans of scientific and scientific and technical activities of the National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” and is part of research within the scope of scientific research works:

“Optimization of Web-oriented Systems with a Large Set of Data” (state registration № 0117U004913, KPI named after Igor Sikorsky, Kyiv), performed by the Department of Information Systems and Technologies of the National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” from 2018;

“Methods of Managing Heterogeneous Distributed Databases with a Dynamic Structure Based on a Network-centric Approach” (state registration № 0121U109260, KPI named after Igor Sikorsky, Kyiv), performed by the Department of Information Systems and Technologies of the National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” from 2021.

The aim of the dissertation is to increase the effectiveness of the control systems on the basis of the application of network-centric organization of the mobile agents’ interaction with the use of differential play under the conditions of

increasing influence of environmental factors.

The scientific novelty of the obtained results is as follows:

1. For the first time, a model of a data transmission system was developed to ensure network-centric management of mobile agents. The developed model is based on the optimization of the data transmission system with a roving control center, which allows to ensure the specified efficiency of network-centric control.

2. For the first time, a mathematical model for monitoring the dynamic environment of mobile agents under conditions of increasing influence of disruptive factors was developed. The developed model is based on the growth of the influence of fault factors, which allows creating a system for monitoring the dynamic environment of network-centric management of mobile agents.

3. For the first time, a method of network-centric control of mobile agents using a differential game was developed. The developed method is based on the basis of solving optimization problems in the form of two players, which allows to implement effective management in conditions of uncertain disturbances.

4. The information technology of managing mobile agents in a dynamic environment has been improved taking into account the network-centric organization of their interaction. The obtained information technology differs from the existing ones in that it is built on the basis of a network-centric organization of interaction of agents with the use of a differential game to manage them in critical conditions, which allows creating an effective system of network-centric management of mobile agents.

The developed model of the data transmission system, the mathematical model for monitoring the dynamic environment of mobile agents, the method of network-centric control of mobile agents using the differential game, and information management technology can be used in conditions of increased influence of disruptive factors in order to ensure the specified performance indicators. Conducted experimental studies and evaluation of management indicators using developed models, methods and technology confirm the

effectiveness of their application for building a mobile agent control system. The results of the performed calculations and evaluations can become the basis for the preparation of scientific and technical solutions regarding the implementation of information technology of network-centric management of mobile agents using the differential game in practice.

The practical significance of the work results is confirmed by the implementation acts:

in the design bureau of information systems of KPI named after Igor Sikorsky (act dated 26.05.2023);

in the educational process of the Faculty of Informatics and Computer Engineering of the National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” for students of specialties 126 “Information Systems and Technologies” and 121 “Software Engineering” (act of 16.06.2023);

in the educational process of the Department of Military Training of the National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” for students in the military accounting specialty “Operation and Repair of Unmanned Aircraft Complexes” (act dated 15.09.2023);

in the educational process of the Department of Communications Technologies and Cyber Defense of the National Defense University of Ukraine (act dated 09.11.2023);

in the educational process of the Department of “Special Information Systems and Robotic Complexes” of the Heroiv Krut Military Institute of Telecommunications and Informatization (act dated 01.11.2023).

Keywords: dynamic environment, information technology, network-centric approach, mobile agents, management.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Гусинін А.В., Яровий О.В., Антонова-Рафі Ю.В. Оптимізація керування посадкою дирижабля на основі багатоетапного методу диференціальних перетворень. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2017. Вип. 5 (45). С. 12–17.

2. Козловський В.В., Яровий О.В., Сопільняк Д.О. Моделювання характеристик захисних діелектричних покриттів: міжвідомчий науково-технічний збірник. *Адаптивні системи автоматичного управління*. 2017. № 2 (31). С. 31–37.

3. Яровий О.В. Системи управління безпілотними літальними апаратами для здійснення моніторингу наземних об'єктів. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2018. Вип. 3 (49). С. 33–38.

4. Пархомей І.Р., Яровий О.В., Дибань А.В. Модернізація системи тактової синхронізації з метою підвищення швидкодії та динамічної точності: міжвідомчий науково-технічний збірник. *Адаптивні системи автоматичного управління.* 2018. № 1 (32). С. 120–136.

5. Milov O., Yevseiev S., Ivanchenko Y., Milevskyi S., Nesterov O., Puchkov O., Salii A., Tymochko O., Tiurin V., Yarovyi A. Development of the model of the antagonistic agents behavior under a cyber conflict. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729-3774 (Східно-Європейський журнал передових технологій)*. 2019. Т 4, № 9 (100). С. 6–19. (This journal is indexed in Elsevier Scopus).

6. Жук О.В., Дніпровська А.М., Яровий О.В., Рущак О.А. Аналіз ефективності використання атмосферних оптичних систем передачі. *Information Technology and Security*, January-June 2019, Vol. 7, Iss. 1 (12), P. 99–109.

7. Zavgorodnii V., Braykovs′ka N., Yarovyi O., Zavgorodnya A, Liskin V., Mukhin O. The Method of Restoring Parameters of Mobile Agents in a Unified Dynamic Environment Considering Similarity Coefficients. *International Journal of Computer Network and Information Security* (IJCNIS). 2023. Vol.15, No.4. P. 25–35. (This journal is indexed in Elsevier Scopus).

8. Яровий О.В., Завгородній В.В. Розробка системи управління мобільними агентами. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. Вип. 3 (98). 2023. Херсон. С.29–36.

9. Яровий О.В., Завгородній В.В. Розробка структурної схеми управління мобільними агентами. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2023. Т. 34(73). №4. С.124–128.

10. Gusynin A., Yarovoy O., Antonova-Rafi Ju., Khudetskyy I. Synthesis of optimal multi-step control algorithms by UAVs based on differential-and-game approach. 2017 IEEE 4th International Conference *“Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD)”*, October 17-19, 2017, Kyiv, Ukraine, P. 100–103. (This conference is indexed in Elsevier Scopus).

11. Яровий О.В., Пархомей І.Р. Енергетичний потенціал атмосферних оптичних систем передачі: тези доповідей XII Міжнародної науково-технічної конференції «*Проблеми телекомунікацій*», 16–20 квітня 2018 року. – К: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». 2018. С. 51–53.

12. Іванченко С.О., Рущак О.А., Яровий О.В., Дибань А.В. Правило обробки надлишкових даних для обґрунтування захищеності джерел від витоку інформації в рамках імплементації міжнародних стандартів з менеджменту інформаційної безпеки. *Інформаційна безпека України*: збірник тез доповідей науково-технічної конференції, 25-26 квітня 2019 року. К: Київський національний університет імені Тараса Шевченка. 2019. С. 43–44.

13. Яровий О.В., Завгородній В.В. Антенні системи безпілотних літальних апаратів для здійснення моніторингу наземних об’єктів в умовах

навмисних завад. *Інформаційно-телекомунікаційні системи і технології та кібербезпека: нові виклики, нові завдання:* тези доповідей учасників науково-практичної конференції, 24–25 листопада 2021 року. К: ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2021. С. 212–213.

14. Яровий О.В., Завгородній В.В. Здійснення моніторингу наземних об’єктів та вибір оптимальної моделі мобільного агента. *Кібербезпека державних інституцій та подолання кризових станів*: матеріали І Міжнародної науково-практичної конференції 26 травня 2022 року. К: ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2022. С. 182–183.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ …… 21
ВСТУП …… 22
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ МОБІЛЬНИМИ АГЕНТАМИ В ДИНАМІЧНОМУ СЕРЕДОВИЩІ…… 31
1.1 Порівняльний аналіз ефективності управління мобільними агентами в динамічному середовищі та підходи щодо підвищення ефективності систем управління..…….…….…….…… 31
1.2 Аналіз особливостей мережецентричного управління мобільними агентами……. 35
1.3 Основні напрямки та завдання дисертаційних досліджень..… 47
1.4 Висновки до розділу 1……..… 53
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МОБІЛЬНИМИ АГЕНТАМИ НА ОСНОВІ МЕРЕЖЕЦЕНТРИЧНОГО ПІДХОДУ ТА МОДЕЛЕЙ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ І МОНІТОРИНГУ ДИНАМІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА……..……. 55
2.1 Мережецентричний підхід для підвищення ефективності систем управління мобільними агентами……...…… 55
2.2 Структура та функціонування системи управління мобільними агентами……..……..……..……..…….. 58
2.3 Модель системи передачі даних для забезпечення мережецентричного управління мобільними агентами……..… 64
2.4 Розробка математичної моделі моніторингу динамічного середовища мобільних агентів…… 85
2.5 Висновки до розділу 2……..… 98
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА МЕТОДУ ТА МОДИФІКАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ МОБІЛЬНИМИ АГЕНТАМИ НА ОСНОВІ МЕРЕЖЕЦЕНТРИЧНОГО ПІДХОДУ З ВИКОРИСТАННЯМ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОЇ ГРИ……..… 100

3.1 Засоби управління мобільними агентами в динамічному середовищі на основі мережецентричного підходу……. 100

3.1.1 Визначення вимог до системи управління мобільними агентами……. 101

3.1.2 Структурна схема системи управління мобільними агентами……. 102

3.2 Методи та засоби підтримки мережецентричного управління мобільними агентами з використанням диференціальної гри ……. 105

3.3 Аналіз функціонування системи та засоби багатоетапного автоматичного управління мобільними агентами…… 111

3.4 Структурна схема мобільного агента в системі управління…. 116

3.5 Створення інформаційної технології управління мобільними агентами в динамічному середовищі з урахуванням мережецентричної організації їх взаємодії та використання диференціальної гри……..… 120

3.6 Висновки до розділу 3……..… 125

РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕРЕЖЕЦЕНТРИЧНОГО УПРАВЛІННЯ МОБІЛЬНИМИ АГЕНТАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОЇ ГРИ…….…… 127

4.1 Імітаційне моделювання поведінки взаємодіючих мобільних агентів ……..…… 127

4.2 Моделювання взаємодії мобільних агентів на основі мережецентричного управління з використанням диференціальної гри... 134

4.3 Експериментальне дослідження ефективності мережецентричного управління мобільними агентами з використанням диференціальної гри в динамічному середовищі…… 139

4.4 Метод оцінювання ефективності мережецентричного управління мобільними агентами з використанням диференціальної гри в динамічному середовищі на основі використання нейронних мереж… 146

4.5 Висновки до розділу 4……..… 157
ВИСНОВКИ …… 159
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ …… 163
ДОДАТКИ
Додаток А. Акти впровадження наукових досліджень дисертаційної роботи …….…… 177
Додаток Б. Список опублікованих праць за темою дисертації …… 187

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

БПЛА – безпілотний літальний апарат

ВМА – вузловий мобільний агент

ЗЗД – зв’язок по заданій дії

ІКМ – імпульсно-кодова модуляція

ІНС – інерціальна навігаційна система

КМА – керуючий (головний) мобільний агент

МА – мобільний агент

ПТЗ – пункт телекомунікаційного зв’язку

ПД – передача даних

ПДІ – передача дискретної інформації

ПТП – платформа тактичної підтримки

РЛС – радіолокаційна станція

СНС – супутникова навігаційна система

ЦУ – центр управління

ЧД – частотний дискримінатор

GPS – Global Positioning System – глобальна система позиціонування або глобальна навігаційна система

QoS – якість обслуговування каналу зв’язку

Wi-Fi – High Fidelity – технологія бездротової мережі високої точності передачі даних

ВСТУП

Актуальність теми. Одним із найважливіших завдань життєдіяльності сучасного суспільства, що суттєво забезпечує його розвиток та інтеграцію у світовому кіберпросторі, є вдосконалення та застосування ефективних систем управління об’єктами різного типу, що дозволяє зменшувати роль людини в цих системах та підвищувати показники їхньої ефективності. Такими показниками, як правило, є стійкість системи, її живучість, надійність, неперервність, оперативність тощо, які можуть бути змінними в часі, бути залежними між собою та визначатись рядом зовнішніх та внутрішніх факторів. Забезпечення потрібних значень цих показників, що мають бути визначені граничними вимогами до конкретних систем управління з урахуванням їхніх особливостей призначення, дозволяє стверджувати про ефективність управління та роботи системи в цілому.

В залежності від застосованих способів та засобів впливу на підконтрольні об’єкти, системи управління поділяють на три класи:

неавтоматизовані системи управління, які працюють виключно за посередництвом людини;

автоматизовані системи управління, які працюють за участю людини в контурі управління;

системи автоматичного управління, які працюють без участі людини в контурі управління.

Всі три класи є етапами еволюції розвитку систем управління, вдосконалення яких спрямовано на зростання автоматизації цих систем та мінімізації ролі людини. Очевидно, що це можливо шляхом запровадження в сучасних системах управління ефективних інформаційних, комунікаційних та інформаційно-комунікаційних систем та технологій з належними рівнем розвитку та адекватністю щодо діючого стану безпеки в інформаційному та фізичному середовищах.

Відповідно до проаналізованої літератури, показники ефективності будь-якої системи управління доцільно розглядати в двох аспектах: результативності та економічності. Щодо першого – підтвердженням ефективності управління є здатність системи виконувати управлінські функції таким чином, щоб організація процесу досягала своєї мети, оперативно реагуючи на зміни зовнішнього та внутрішнього середовища. Щодо другого, то на відміну від результативності, ефективність системи управління полягає в здатності організації існувати та досягати поставленої мети з найбільш оптимальним відношенням отриманих результатів і витрат.

Тому, дослідженню питань підвищення ефективності систем управління, що базуються на новітніх технологіях та підходах, присвячено досить багато наукових праць українських вчених та вчених світу. Серед них є відомими праці В.Є. Мухіна, Ю.В. Кравченка, Г.А. Кучука, І.Ю. Субача, Я.І. Корнаги, В.А. Каплуна, Ю.В. Журавського, В.В. Вишнівського, І.В. Рубана, а також М. Чаухан, С. Латнер, В. Адве, М. Брукмен, А. Шикла, З. Шао, С. Леже, С. Монієр та ін.

Аналіз вищезазначених праць показав, що на сьогоднішній день сучасні інформаційні, комунікаційні та інформаційно-комунікаційні системи та технології досягли досить високого рівня розвитку.

По-перше, вони поміж елементами системи управління дозволяють забезпечувати повнозв’язні мережі зв’язку. При цьому майже всі елементи мають фізичний доступ до середовища інформаційної взаємодії. Доступ же до інформаційного середовища, де здійснюється різного характеру обробка даних, регулюється технологічними засобами.

По-друге, завдяки високій швидкодії, що викликано використанням сучасної малоємнісної елементної бази, інформаційні, комунікаційні та інформаційно-комунікаційні системи та технології надають можливість оперативно реагувати на зміни станів об’єктів управління і приймати ефективні рішення.

По-третє, автоматизація обробки даних зі стану об’єктів управління дозволяє впровадження технологій щодо оптимізації прийняття управлінських рішень.

По-четверте, застосування технологій обробки, що забезпечують управління в частині обчислення формалізованого характеру дозволяють оптимізацію побудови системи управління тощо.

Все це дозволяє підвищити ефективність систем управління та поряд із централізованим, децентралізованим, змішаним та комплексним підходами застосування мережецентричного підходу, який має надати можливість підвищення ефективності управління за всіма показниками.

Проблемою управління мобільними агентами є те, що найчастіше застосовується централізоване управління, при цьому центр управління є вразливим елементом і, у випадку втрати зв’язку з ним, подальше управління є неможливим. Альтернативним варіантом управління є мережецентричний підхід, який дозволяє передавати управління іншому центру. Не дивлячись на те, що процесам управління присвячено досить великий об’єм праць вчених світу, мережецентричний підхід залишається не повною мірою опрацьованим.

Не розглянуті методи мережецентричного управління в динамічних системах, де контролюючими та підконтрольними об’єктами виступають мобільні агенти – рухомі об’єкти. Залишається не розглянутим метод мережецентричного управління з використанням диференціальної гри, який на основі рішення задач оптимізації у вигляді двох гравців може надати можливість ефективного управління в умовах невизначених збурень.

Завдяки здатності вільного пересування мобільних агентів в просторі мережецентричний підхід дозволяє підвищити ефективність управління, забезпечуючи не тільки задану результативність, економічність та оперативність, але й показники надійності, такі як: неперервність, стійкість та живучість. Залишились не вирішеними такі питання, як вплив зовнішніх завадо-факторів на показники ефективності мережецентричних систем

управління та коригування цих показників з урахуванням нових дестабілізуючих факторів.

Таким чином, дисертація присвячена вирішенню важливого наукового завдання, що має технічну спрямованість в галузі інформаційних технологій, а саме: *розробка моделі, методу та інформаційної технології управління мобільними агентами на основі мережецентричного підходу з використанням диференціальної гри.*

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

Тема дисертаційної роботи й отримані нові наукові результати безпосередньо відповідають тематиці пріоритетних напрямів розвитку інформаційних технологій в Україні до 2023 року, у відповідності до Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» від 11 липня 2001 року, № 2623-III (зі змінами), а також Постанови Кабінету Міністрів України від 07 вересня 2011 року № 942 (в редакції постанови Кабінету Міністрів України від 09 травня 2023 року № 463) «Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2023 року».

Дисертаційна робота виконана відповідно до планів наукової і науково-технічної діяльності Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» і є частиною досліджень у межах науково-дослідних робіт:

«Оптимізація роботи веб-орієнтованих систем з великим набором даних» (державний реєстраційний № 0117U004913, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ), яку виконує кафедра інформаційних систем та технологій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» з 2018 року;

«Методи управління гетерогенними розподіленими базами даних з динамічною структурою на основі мережецентричного підходу» (державний реєстраційний № 0121U109260, Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ), яку виконує кафедра інформаційних систем та технологій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» з 2021 року.

Мета і задачі дослідження.

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності функціонування систем управління на основі застосування мережецентричної організації взаємодії мобільних агентів з використанням диференціальної гри в умовах зростання впливу завадо-факторів середовища.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються **часткові завдання**:

1. Провести аналіз та обґрунтувати актуальність завдання підвищення ефективності систем управління мобільними агентами в динамічному середовищі.
2. Розробити модель системи передачі даних для забезпечення мережецентричного управління мобільними агентами.
3. Розробити математичну модель моніторингу динамічного середовища мобільних агентів в умовах зростання впливу завадо-факторів.
4. Розробити метод мережецентричного управління мобільними агентами в динамічному середовищі з використанням диференціальної гри.
5. Удосконалити інформаційну технологію управління мобільними агентами в динамічному середовищі з урахуванням мережецентричної організації їхньої взаємодії та використання диференціальної гри.
6. Виконати експериментальне дослідження параметрів та оцінювання ефективності мережецентричного управління мобільними агентами.

Об’єкт дослідження – процеси управління мобільними агентами в динамічному середовищі.

Предмет дослідження – моделі, методи та інформаційна технологія мережецентричного управління мобільними агентами з використанням диференціальної гри в критичних умовах зростання впливу завадо-факторів.

Методи дослідження. Дисертаційне дослідження ґрунтується на системному аналізі результатів сучасних теоретичних і прикладних розробок українських і зарубіжних вчених у сфері інформаційних технологій та технологій управління. Під час виконання дослідження використано логіко-імовірнісні та статистичні методи, методи дискретної математики, методи теорії обробки спостережень для аналізу експериментальних даних, методи формалізації даних, методи аналітичного моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше розроблено модель системи передачі даних для забезпечення мережецентричного управління мобільними агентами. Розроблена модель ґрунтується на оптимізації системи передачі даних з блукаючим центром управління, що дозволяє забезпечити задану ефективність мережецентричного управління.

2. Вперше розроблено математичну модель моніторингу динамічного середовища мобільних агентів в умовах зростання впливу завадо-факторів. Розроблена модель базується на зростанні впливу завадо-факторів, що дозволяє створити систему моніторингу динамічного середовища мережецентричного управління мобільними агентами.

3. Вперше розроблено метод мережецентричного управління мобільними агентами з використанням диференціальної гри. Розроблений метод ґрунтується на основі рішення задач оптимізації у вигляді двох гравців, що дозволяє реалізувати ефективне управління в умовах невизначених збурень.

4. Удосконалено інформаційну технологію управління мобільними агентами в динамічному середовищі з урахуванням мережецентричної організації їхньої взаємодії. Отримана інформаційна технологія відрізняється від існуючих тим, що вона побудована на основі мережецентричної організації взаємодії агентів з використанням диференціальної гри для управління ними в критичних умовах, що дозволяє створити ефективну систему мережецентричного управління мобільними агентами.

Практичне значення отриманих результатів.

Розроблені модель системи передачі даних, математична модель моніторингу динамічного середовища мобільних агентів, метод мережецентричного управління мобільними агентами з використанням диференціальної гри та інформаційна технологія управління можуть бути використаними в умовах підвищеного впливу завадо-факторів з метою забезпечення заданих показників ефективності. Проведені експериментальні дослідження та оцінювання показників управління з використанням розроблених моделей, методу та технології підтверджують ефективність їхнього застосування для побудови системи управління мобільними агентами. Результати виконаних розрахунків та оцінювань можуть стати основою для підготовки науково-технічних рішень щодо реалізації інформаційної технології мережецентричного управління мобільними агентами з використанням диференціальної гри на практиці.

Практичне значення результатів роботи підтверджено актами впровадження:

в конструкторському бюро інформаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського (акт від 26.05.2023);

в навчальний процес факультету інформатики та обчислювальної техніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» для студентів спеціальностей 126 «Інформаційні системи та технології та 121 «Інженерія програмного забезпечення» (акт від 16.06.2023);

у навчальний процес кафедри Військової підготовки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» для студентів за військово-обліковою спеціальністю «Експлуатація та ремонт безпілотних авіаційних комплексів» (акт від 15.09.2023);

у навчальний процес кафедри комунікаційних технологій та кіберзахисту Національного університету оборони України (акт від 09.11.2023);

у навчальний процес кафедри «Спеціальних інформаційних систем та

робототехнічних комплексів» Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут (акт від 01.11.2023).

Особистий внесок здобувача.

Усі наукові результати дисертації одержано автором самостійно. У друкованих працях, опублікованих у співавторстві, йому належить наступне: наведено опис алгоритму синтезу багатоетапного управління мобільним агентом [1]; обґрунтована можливість моделювання процесу дослідження ефективності мережецентричного управління мобільними агентами в динамічному середовищі [2]; проведено аналіз різних класів і типів мобільних агентів, запропоновано варіант обміну інформацією між центром управління та мобільними агентами [3]; здійснено аналіз ефективності управління мобільними агентами в динамічному середовищі та визначено підходи щодо підвищення ефективності систем управління [4]; розроблено математичну модель моніторингу динамічного середовища мобільних агентів в умовах зростання впливу завадо-факторів [5]; розглянуто напрямки підвищення надійності роботи систем передачі даних за рахунок використання нових оптимізаційних підходів [6]; запропоновано метод відновлення параметрів мобільних агентів в динамічному середовищі [7]; розроблено структурну схему системи управління мобільними агентами [8]; запропоновано комплексний підхід до розробки структурної схеми системи управління мобільними агентами [9]; застосовано концепцію гарантовано-адаптивного підходу до синтезу алгоритмів управління траєкторним рухом мобільних агентів [10]; проведено аналіз параметрів, які визначають значення можливого енергетичного потенціалу систем передачі даних [11]; проведено аналіз показників захищеності системи управління мобільним агентом в умовах зростання впливу завадо-факторів [12]; проведено аналіз антенних систем мобільних агентів, які використовуються для здійснення моніторингу наземних об’єктів в умовах навмисних завад [13]; запропоновано принцип вибору оптимальної моделі мобільного агента [14].

Апробація результатів дисертації.

Основні результати дисертаційних досліджень доповідалися й обговорювалися на таких конференціях і семінарах:

2017 IEEE 4th International Conference “Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD)” (Kyiv, Ukraine, October 17–19, 2017). (This conference is indexed in Elsevier Scopus).

XII Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми телекомунікацій» (Київ, Україна, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 16–20 квітня 2018 року).

Науково-технічна конференція «Інформаційна безпека України» (Київ, Україна, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 25–26 квітня 2019 року).

Науково-практична конференція «Інформаційно-телекомунікаційні системи і технології та кібербезпека: нові виклики, нові завдання» (Київ, Україна, ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 24–25 листопада 2021 року).

І Міжнародна науково-практична конференція «Кібербезпека державних інституцій та подолання кризових станів» (Київ, Україна, ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 26 травня 2022 року).

Публікації. Результати дисертації опубліковано в 14 наукових працях. Опубліковано статей – 9 [1 – 9], з яких 7 статей [1 – 4, 6, 8, 9] – у наукових фахових виданнях України з Переліку, затвердженого МОН України, 2 статті опубліковані у наукових виданнях Scopus [5, 7]. За матеріалами виступів на науково-технічних та науково-практичних конференціях опубліковано 5 публікацій [10 – 14], серед яких одну публікацію [10] проіндексовано в наукометричній базі Scopus.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел (128 найменувань на 14 сторінках), 2 додатків (на 13 сторінках). Основний текст роботи викладено на 162 сторінках, рисунків – 40, таблиць – 8. Загальний обсяг роботи становить 189 сторінок.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ МОБІЛЬНИМИ АГЕНТАМИ В ДИНАМІЧНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

1.1. Порівняльний аналіз ефективності управління мобільними агентами в динамічному середовищі та підходи щодо підвищення ефективності систем управління

У нашому сучасному інформаційному суспільстві управління відіграє важливу роль. Воно забезпечує оптимальне функціонування різних систем шляхом координації взаємодії між їх складовими елементами. З урахуванням стрімкого прогресу інформаційних технологій та автоматизації, управління стає все більш актуальним і потребує постійного розвитку.

Ефективність же системи управління визначається двома факторами. Це, в першу чергу, результативність, яка характеризується мірою досягнення потрібних цілей, та економічність – відношення результативності до вартості цієї управлінської послуги.

Ефективність управління визначається двома ключовими факторами. По-перше, це результативність, що відображає міру досягнення поставлених цілей. По-друге, це економічність, яка відноситься до співвідношення результативності управління та витрат, затрачених на надання цих управлінських послуг.

Зазвичай, процес управління представляє собою систему, що складається з принципів, форм, методів, прийомів та засобів управління. Система управління – це складна організаційна структура, що складається з взаємодіючих елементів, включаючи об’єкт та суб’єкт управління. Це упорядкована мережа взаємозв’язаних елементів, які мають свої функціональні цілі, діють автономно, але працюють для досягнення загальної мети.

Кожна система управління містить дві взаємопов’язані підсистеми: керуючу підсистему або суб’єкт управління (тобто того, хто здійснює управління) та керовану підсистему або об’єкт управління (тобто того, ким управляють) (рис. 1.1).

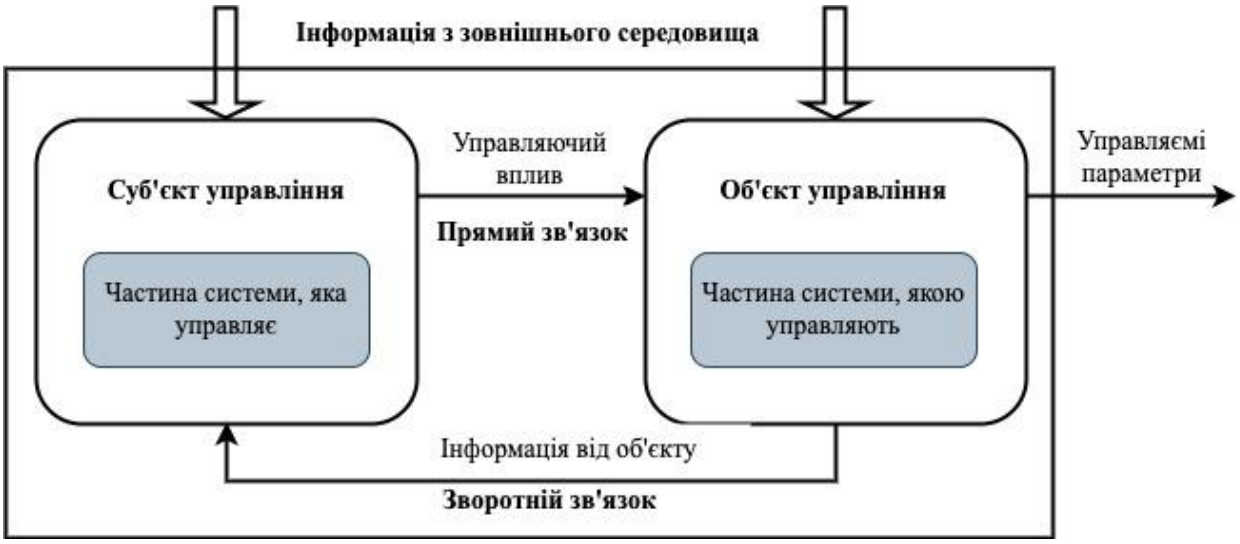


Рис. 1.1. Загальна модель системи управління

Керуюча підсистема включає всі компоненти, що забезпечують процес управління – цілеспрямованого впливу на об’єкти, що підлягають управлінню.

Керована підсистема, з свого боку, включає всі елементи, що підлягають управлінню. Система управління може складатись з різних груп елементів, таких як технічні, технологічні, організаційні і т.д.

Один з елементів системи управління, які мають значення, є мобільні агенти. Вони поєднують у собі програмне управління і здатність вільно переміщуватись у фізичному тривимірному просторі. Це широко поширені системи, які належать до нового покоління управління та існують завдяки розвитку інформаційних систем і технологій, що забезпечують їхнє функціонування. Один із прикладів таких агентів – безпілотні літальні апарати (БПЛА), які набули великого значення у боротьбі проти російської

агресії. Завдяки поєднанню їхнього виконавчого управління в єдину мережеву централізовану систему, наша країна з початку війни здобула перевагу, отримуючи менші втрати військової техніки та людських життів.

Очевидно, що ефективність цих систем головним чином залежить від ефективності програмного забезпечення та фізичних компонентів системи. На практиці існує низка вимог, які можуть бути поставлені до фізичних систем, що стосуються надійності, довговічності, безперебійності, швидкодії, конфіденційності, захисту від несанкціонованого доступу та інших аспектів. Кожна система управління має свою власну структуру, яка складається з компонентів системи та зв’язків між ними.

Ознаки, за якими класифікують структури систем управління:

1. За принципами управління та підпорядкованості:

централізовані системи управління, де рішення приймаються на центральному рівні та підпорядковуються всім підсистемам;

децентралізовані системи управління, де рішення приймаються на різних рівнях підсистем і мають відповідальність на місцевому рівні;

змішані системи управління, де окремі функції та етапи виконуються централізовано, а інші – децентралізовано;

комплексні системи управління, які поєднують різні принципи та підходи;

центричні системи управління, в яких фокус зосереджений на центральному елементі, що координує всі інші підсистеми.

2. За сталістю кількості елементів та зв’язків:

системи з фіксованою (жорсткою) структурою, де кількість елементів та зв’язків залишається постійною;

системи зі змінюваною (змінною) структурою, де кількість елементів та зв’язків може змінюватись залежно від потреб системи.

3. За принципами поділу на підсистеми:

системи, де компоненти об’єднані за функціональним принципом;

системи, де компоненти об’єднані за об’єктним принципом.

4. За виконуваними функціями та цільовим призначенням:

технічні системи, спрямовані на управління технічними процесами;

організаційні системи, спрямовані на управління організаційними процесами.

5. За кількістю рівнів ієрархії:

однорівневі системи управління, де існує один рівень ієрархії, і всі рішення приймаються на цьому рівні;

багаторівневі системи управління, які мають кілька рівнів ієрархії, де рішення передаються від одного рівня до іншого.

В свою чергу, багаторівневі системи управління можуть бути:

однорідними, де вузли на кожному рівні виконують однакові функції та мають подібні характеристики;

неоднорідними, де вузли на різних рівнях можуть виконувати різні функції та мати різні характеристики.

Ці ознаки допомагають класифікувати структури систем управління і розуміти їх особливості та принципи дії.

Один із сучасних підходів до структури управління, принципів та засобів – мережецентричний підхід. Цей підхід об’єднує всі сили та засоби в одну інформаційну систему, що дозволяє досягати управлінських цілей навіть у динамічному та складному середовищі, яке постійно зазнає впливу завадових факторів. Такі фактори можуть діяти непостійно, нерегулярно та нестаціонарно, але мережецентричне управління все ж може бути ефективним у таких умовах.

Стратегія управління є важливим аспектом будь-якої системи управління, незалежно від її структури. Особливо актуальна вона стає при розробці та впровадженні автоматизованих систем та систем автоматичного управління. Стратегія, як модель узагальнення управлінських дій, необхідних для досягнення поставлених цілей, передбачає розроблення планів, алгоритмів та програм для досягнення цих цілей. У цих стратегіях повинні бути враховані всі можливості системи.

Був проведений аналіз проблем управління мобільними агентами і були визначені їх особливості в динамічному середовищі. Було встановлено, що результативність та економічність є основними факторами, що впливають на ефективність системи управління. Результативність відображає досягнення управлінських цілей, а економічність визначає співвідношення між результативністю та вартістю послуг управління. Було показано, що фактор економічності є ключовим для досягнення оптимального управління. Це досягається шляхом розсудливого вибору підходів, правил, принципів та засобів для реалізації системи управління в реальних умовах. Основними критеріями успішності є надійність, життєздатність, безперебійність, швидкодія, конфіденційність, захищеність від перехоплення управління та інші фактори.

Таким чином, проведено аналіз та обґрунтовано актуальність завдання підвищення ефективності систем управління мобільними агентами в динамічному середовищі. Показано, що одним із методів для підвищення ефективності управління мобільними агентами в умовах динамічного середовища, яке відзначається присутністю різноманітних завадових та інших критичних факторів, полягає у використанні мережецентричного підходу. Незважаючи на те, що цей підхід вимагає значного інформаційно-комунікаційного забезпечення, він все ж може стати ефективним і найбільш підходящим для управління мобільними агентами в динамічному середовищі з точки зору продуктивності та економічності управління.

1.2. Аналіз особливостей мережецентричного управління мобільними агентами

На сьогоднішній день більшість наявних мобільних агентів (далі – МА) управляються вручну за допомогою пультів дистанційного управління, що працюють на радіоканалах. Однак ручне управління МА викликає ряд труднощів, пов’язаних з необхідністю спеціальної підготовки операторів,

обмеженою робочою дальністю МА та залежністю від погодних умов. Управління МА вимагає кваліфікованих фахівців. Наприклад, у військовій сфері США операторами МА стають досвідчені пілоти повітряних сил після проходження річної підготовки та тренування. У багатьох випадках це завдання може бути складнішим, ніж пілотування літаком. Більшість аварій МА виникають через помилки операторів та механічні поломки [3].

Один із нових напрямків в технологічному світі полягає у розробці МА, які мають парну кількість роторів, що обертаються діагонально у протилежних напрямках. МА сам по собі є лише складовою частиною складного багатофункціонального комплексу. На відміну від пілотованої авіації, для операцій МА необхідні додаткові компоненти системи забезпечення. Ці компоненти включають сам МА, робоче місце оператора, програмне забезпечення, лінії передачі даних та елементи, необхідні для досягнення мети польоту. На сьогоднішній день основною тенденцією є розробка компактних МА. Основними причинами такого розвитку є просте управління, надійність і маневреність [14].

У авіамоделістів і професійних сферах, таких як цивільний сектор, сільське господарство, армія, поліція та інші силові структури, МА мають великий попит. Оптимальний вибір моделей МА та систем управління важливий для здійснення моніторингу наземних об’єктів.

МА мають широкий спектр застосування в цивільному секторі. Однак, існують складнощі з повітряними польотами через недостатньо розвинену правову базу. Незважаючи на це, МА можуть бути корисними в народному господарстві в таких сферах:

проведення пошукових робіт;

геологічна розвідка;

аерозйомка місцевості;

виконання авіаційних хімічних робіт;

моніторинг територій та об’єктів;

відеоспостереження.

МА мають ряд переваг порівняно з пілотованими літаками. Ось кілька з них:

легкі безпілотні МА є більш економічними у порівнянні з пілотованими літаками для виконання однакових завдань. Пілотовані літаки потребують додаткових систем життєзабезпечення, захисту, кондиціонування тощо, що значно збільшує витрати. Мобільні агенти, у свою чергу, не потребують таких додаткових установок;

підготовка пілотів вимагає значних фінансових витрат і витрати тривалого часу. Відсутність екіпажу на борту мобільних агентів істотно знижує витрати на виконання завдань. Крім того, це дозволяє збільшити корисне навантаження апарату;

для МА не потрібні аеродроми, що відрізняє їх від пілотованих літаків. МА можуть працювати на різних теренах і не обмежені доступом до певних пунктів призначення;

використання автоматичного і напівавтоматичного управління у МА виключає вплив людського фактору на виконання завдань. Це дозволяє досягти більшої надійності та точності під час виконання різних завдань.

Таким чином, мобільні агенти, які не потребують пілотів на борту, є більш ефективними та економічними засобами виконання завдань порівняно з пілотованими літаками.

Для забезпечення моніторингу поверхні Землі в реальному часі під час польоту і цифрового фотографування обраних територій, включаючи важкодоступні ділянки, а також для визначення координат об’єктів, МА повинен мати компоненти:

супутникову навігаційну систему (GPS), яка забезпечує точне визначення місця розташування МА;

командно-навігаційну радіолінію з антеною та фідерним пристроєм для передачі команд і отримання навігаційних даних;

пристрій для обміну командною інформацією, що дозволяє взаємодіяти із наземною станцією або іншими МА;

бортовий цифровий обчислювальний пристрій, який здійснює обробку і аналіз отриманих даних.

Ці компоненти допомагають забезпечити ефективне здійснення місій зі спостереження за місцевістю, забезпечуючи точність і оперативність збору й обробки інформації.

Залежно від класу МА, корисне навантаження може бути розширене різними типами радіолокаційних станцій (РЛС) і датчиками для екологічного, радіаційного та хімічного моніторингу. Комплекс управління МА має складну структуру з багатьма рівнями, його основна мета полягає у виведенні МА до заданої зони та виконанні задач згідно з польотним завданням, а також у передачі інформації, отриманої бортовими засобами МА, на центр управління.

Розглянемо системи управління мобільними агентами з використанням мережі, які базуються на контролері Ardupilot Mega 2560. Цей контролер спеціально розроблений для застосування в автомобілях, суднах та МА [3]. Бортовий комплекс Ardupilot є повнофункціональним засобом для навігації, контролю та управління МА у повітряному просторі.

Цей комплекс забезпечує:

визначення навігаційних параметрів, кутів орієнтації та рухових параметрів МА (кутових швидкостей і прискорень);

навігацію та управління МА заданою траєкторією;

стабілізацію кутів орієнтації МА під час польоту;

передачу телеметричної інформації про навігаційні параметри та кути орієнтації МА через вказаний канал передачі.

На рисунку 1.2 представлено типовий варіант бортового контролера для МА, який має малогабаритну інерціальну навігаційну систему (ІНС), інтегровану з приймачем супутникової системи навігації, що є центральним елементом комплексу «Ardupilot». Ця система заснована на використанні мікроелектромеханічних датчиків (гіроскопів і акселерометрів) за принципом ІНС і є унікальним продуктом високої технології. Крім того, вона включає в

себе вбудований датчик статичного тиску, який забезпечує динамічне визначення висоти і швидкості [3].

Рис. 1.2. Бортовий контролер для МА

Склад бортового комплексу включає наступні компоненти:

модуль інерціальної навігаційної системи;

супутниковий приймач для навігації (СНС);

блок управління автопілотом;

пристрій для зберігання польотних даних;

датчик швидкості повітря.

Комплекс, який поєднує радіоканал імпульсно-кодової модуляції (ІКМ), дозволяє управляти літаком безпілотного типу як у ручному режимі за допомогою звичайного пульта дистанційного управління, так і в автоматичному режимі за командами автопілота.

Автопілот забезпечує одночасну стабілізацію політного процесу і управління навігацією, що усуває потребу у використанні окремої системи стабілізації. Він підтримує режим «дистанційно керованого польоту» («fly-by-wire»). Для роботи автопілота використовується плата, що базується на мікроконтролері Atmega з тактовою частотою 16 МГц. Зв’язок з контролером здійснюється через аналоговий приймач «HITEC RCD 9500». Модуль «Ardupilot» було обрано через можливість вільного редагування його коду та

внесення змін в алгоритм. Також доступність модуля на ринку була однією з причин його вибору. Даний комплекс забезпечує автоматичний зліт та посадку, що є зручним способом упорядкування. Він також повністю сумісний з симуляторами Xplane [37] і Flight Gear [38].

Універсальна класифікація МА, запропонована Міжнародною асоціацією безпілотних систем AUVSI (Association for Unmanned Vehicle Systems International), об’єднує багато критеріїв. Для моніторингу наземних об’єктів особливо підходять МА, які мають високу маневреність та керованість, мають просту конструкцію і здатні виконувати різноманітні функції. Управління ними вимагає від пілота лише базових навичок, а вартість таких МА відносно невисока.

Для розробки мобільних засобів моніторингу наземних об’єктів та загоризонтного управління, які включають роботизовані пристрої з інтелектуальними компонентами, необхідно здійснити наступні завдання:

1. Розробка нових методів оптимізації польотних маршрутів, що враховують результати комп’ютерного моделювання на емуляторі пілотування, тестових параметрів базового модуля та його фактичного складу.

2. Розробка нових методів збору моніторингових даних з використанням аеромобільних засобів та вибір оптимального методу з точки зору комплексної ефективності виконання моніторингового завдання. Метою є зменшення впливу різноманітних дестабілізуючих факторів і зовнішніх впливів.

3. Розробка нових способів та засобів загоризонтного управління МА, використовуючи спеціалізовану бортову обчислювальну техніку. Це включає можливість віддаленої корекції або зміни польотного завдання з пункту управління під час польоту апарату.

4. Розробка нових компонентів системи аеромоніторингу на основі МА, а також наземної підсистеми для збору, обробки та збереження

моніторингової інформації. Проведення випробувань системи для перевірки її ефективності.

5. Розробка нових алгоритмів та програмних продуктів для загоризонтного пілотування, первинної обробки моніторингових даних, накопичення, індексування та збереження даних.

6. Розробка методичних рекомендацій щодо проведення випробувань та ефективного використання систем моніторингу наземних об’єктів на базі аеромобільних засобів з використанням спеціалізованої бортової обчислювальної техніки.

У результаті цих розробок ми плануємо досягнути наступних цілей:

забезпечити оптимальний вибір польотних маршрутів для збільшення ефективності моніторингу та зниження витрат палива;

мінімізувати вплив дестабілізуючих факторів і зовнішніх впливів на якість збору моніторингових даних;

забезпечити можливість віддаленого управління МА та гнучкість в зміні польотних завдань під час їх виконання;

розробити ефективну систему збору, обробки та збереження моніторингової інформації, що дозволить швидко та точно аналізувати дані для прийняття відповідних рішень;

забезпечити надійні алгоритми та програмні рішення для автоматизованого загоризонтного пілотування та обробки моніторингових даних;

розробити методичні рекомендації, що допоможуть ефективно провести випробування систем моніторингу та оптимально використовувати їх на практиці.

За допомогою цих розробок і рекомендацій, ми очікуємо покращення якості моніторингу наземних об’єктів, зменшення витрат та збільшення ефективності використання мобільних засобів моніторингу та загоризонтного управління.

При застосуванні принципу загоризонтного управління і моніторингу, базова схема може мати такий вигляд, як показано на рисунку 1.3.

Якщо відсутній прямий зв’язок між МА і центром управління (ЦУ) чи виникає нестабільний зв’язок, з’являється необхідність використовувати високу мачту антени ЦУ або супутникові канали зв’язку. Необхідний додатковий аналіз ефективності наземних антен залежно від їхньої конструкції, висоти розташування та діапазону частот.

Варто зазначити, що доступні супутникові канали, як правило, є повільними і витратними.

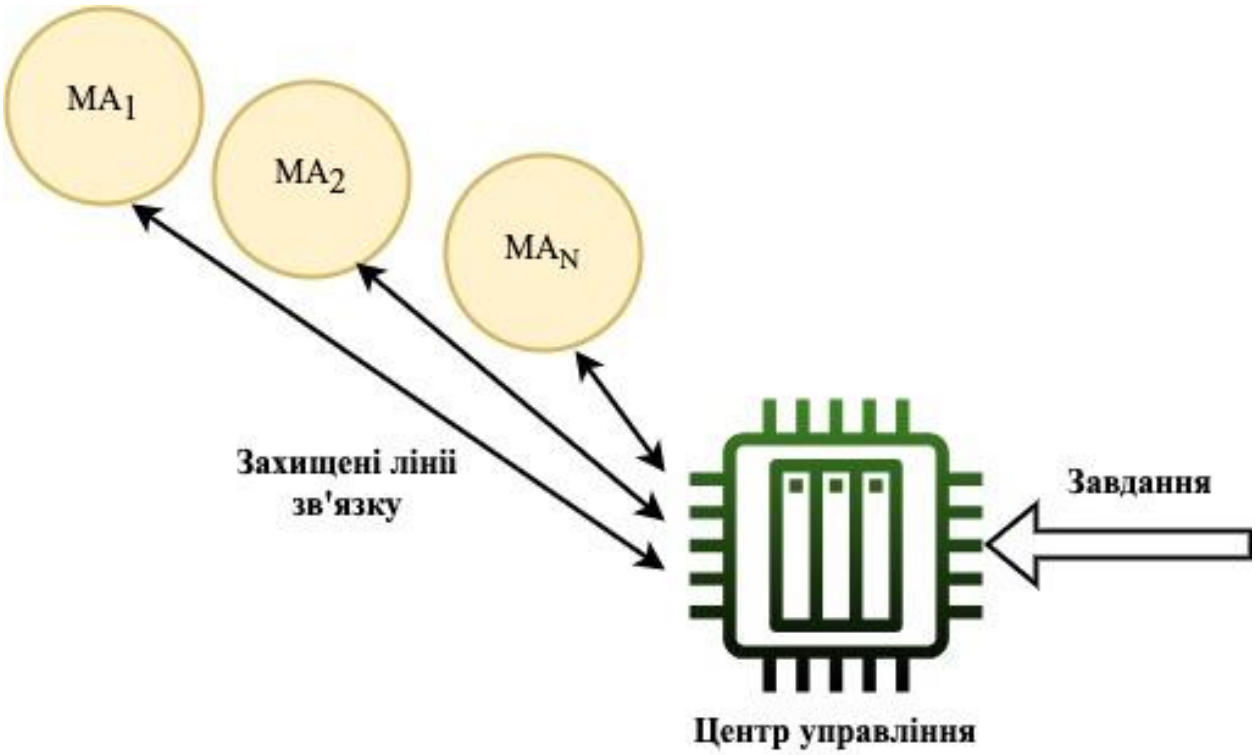


Рис. 1.3. Базова схема загоризонтного принципу управління і моніторингу

Один можливий варіант розв’язання цієї проблеми полягає у використанні альтернативного МА (MA_A) для передачі необхідних даних між ЦУ та базовим блоком системи моніторингу. Ця схема показана на рисунку 1.4 і пропонується як рішення.

Також можливим є використання цього рішення для управління роботизованим пристроєм, якщо об’єкт обслуговування знаходиться у місці,

що екранує радіопромінь (наприклад, за будівлею) або в глибині яру, де можуть виникати відлуння радіосигналу управління.

Змінивши напрямок антени ПТП (точка-точка) в іншу зону його покриття, можна відновити стійкий зв’язок між ЦУ та альтернативним МА і виконати заплановані програмні завдання.

Ця схема горизонтального управління може бути використана для оптимізації зони вильоту альтернативного МА за межі зони стійкого зв’язку з ПТП. Це можна досягти шляхом перенесення ПТП залежно від відстані альтернативного МА до нової зони покриття. Такий підхід значно збільшить дальність польоту альтернативного МА і розширить його застосування для моніторингу наземних об’єктів та виконання відповідних сервісних робіт роботом.

Розробка компоновки системи автономного МА з роботизованим пристроєм включає наступні елементи [16]:

По-перше, МА з роботизованим пристроєм використовує традиційні блоки та системи, що застосовуються у таких пристроях. Серед них 3-х осьовий гіроскоп, 3-х осьовий акселерометр та барометричний висотомір, які за допомогою аналого-цифрового перетворювача (АЦП) передають сигнали про режим польоту до головного процесора для обробки даних та управління. Також до головного процесора через блок комутації надходять сигнали від GPS-приймача, магнітометра та радіомодема. Останній отримує команди управління від оператора через антену на частоті 2,4 ГГц, які передаються із ЦУ.

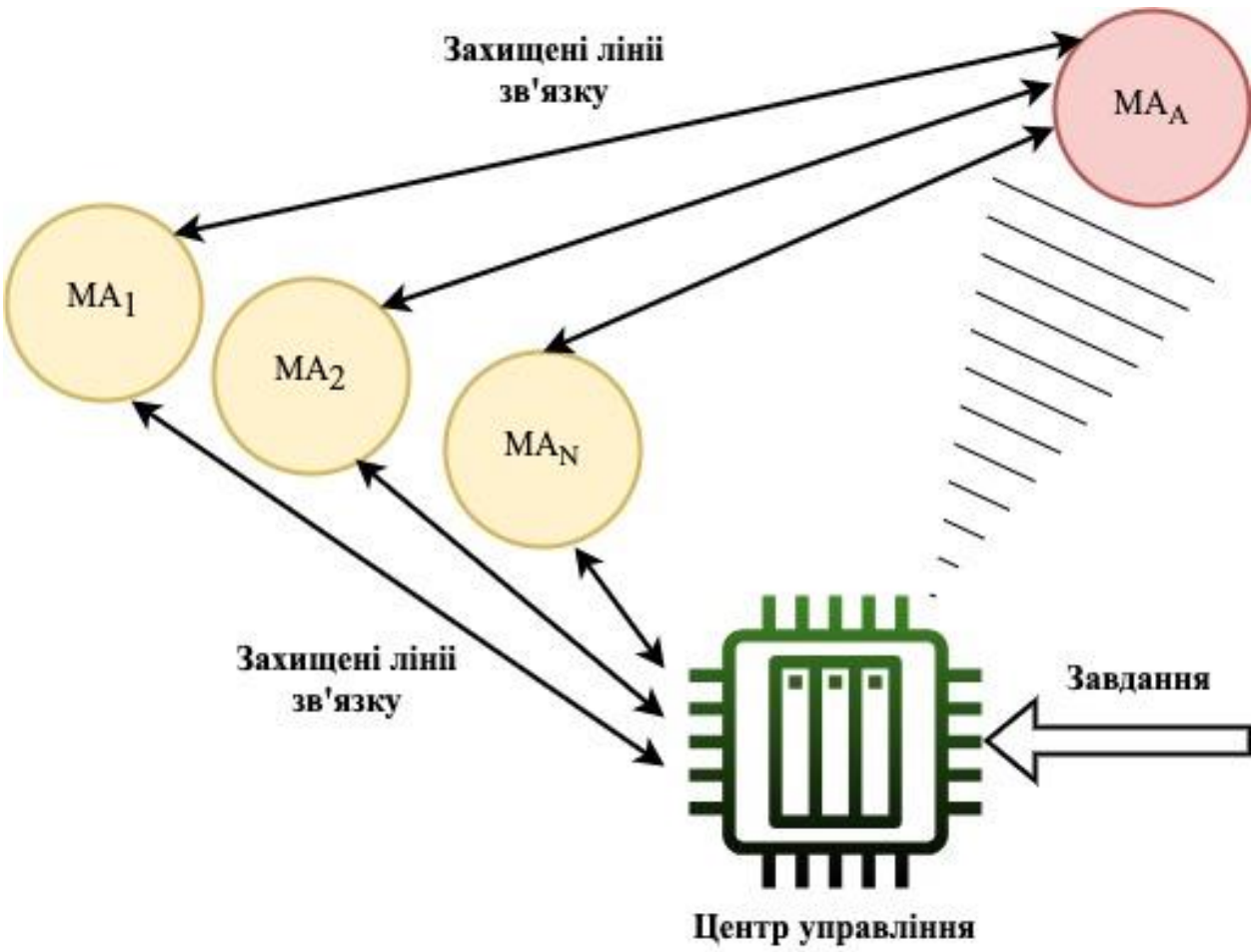


Рис. 1.4. Загальна інформаційна структура управління і моніторингу

По-друге, для запобігання можливих зіткнень МА з землею, до блока комутації підключено ультразвуковий висотомір. Цей датчик вимірює відстань між пристроєм і землею, дозволяючи системі контролювати висоту польоту з високою точністю та уникати небезпечних ситуацій.

Основний процесор здійснює інтеграцію отриманих сигналів і керує обертами двигунів для управління польотом МА. Він отримує дані безпосередньо від процесора управління роботом. Крім того, головний процесор і процесор управління роботом взаємодіють для забезпечення автономної роботи роботизованого пристрою у випадках, коли дистанційне управління неможливе.

Блок телеметрії формує потік телеметричних даних, що стосуються параметрів і режимів роботи МА та роботизованого пристрою. Цей блок

передає потік даних через передавач телеметрії та антенну систему для телеметрії. Телеметрична інформація не потребує широкого каналу зв’язку, тому можна використовувати низькочастотні канали для передачі даних.

ЦУ отримує потоки змішаних даних та відео з широкочастотною полосою через антенну систему. Ці потоки включають відео з курсової камери і відео з відеокамери моніторингу наземних об’єктів та передаються на високій швидкості. Щоб забезпечити оптимальну якість, відеодані з обох камер проходять попередню обробку зображень та форматування за допомогою відеопроцесорів.

Для управління роботою відеокамер МА використовуються окремі системи управління для кожної камери. Ці системи управління отримують команди від головного процесора на основі команд оператора та оперативних даних про наземні об’єкти моніторингу [17].

МА також оснащується одним або двома акумуляторами для живлення описаних пристроїв та роботизованого пристрою. У комплекті може бути також радіомаяк, який полегшує розшук МА в разі аварійних посадок та нештатних ситуацій з роботизованим пристроєм.

До основної структури компонентів роботизованого пристрою відносяться процесор, що керує роботом, система управління маніпулятором та безпосередньо виконавчий пристрій, а також система агрегування сигналів від сенсорів. У разі потреби базовий блок може бути обладнаний тепловізором і відповідним контролером для обробки даних з нього.

Процесор управління роботом отримує сигнали від сенсорної системи робота і, відповідно до вбудованих алгоритмів, формує команди управління для сервоприводів маніпулятора та системи управління виконавчим пристроєм робота.

Під час використання автономного режиму робота, для управління роботизованим пристроєм, використовуються типові програми, які зберігаються в спеціальній кеш-пам’яті процесора управління роботом. Ці програми завантажуються в процесор управління роботом на час, коли він

працює в автоматичному режимі. Під час такого режиму обмін даними між головним процесором, який обробляє дані та керує МА, і процесором управління роботом не припиняється. Навпаки, він збільшується і стає більш інтенсивним.

Був проведений аналіз особливостей управління мобільними агентами в критичних умовах та приділено особливу увагу показнику живучості як пріоритетному фактору ефективності. Вибір мережецентричного підходу для управління мобільними агентами зумовлений його потенціалом і високою ефективністю у забезпеченні необхідної живучості та інших управлінських показників у динамічному середовищі. Ефективність такого управління має бути досяжною як з точки зору результативності, так і з погляду оптимальності та економічності управління.

Мережецентричний підхід використовується з великим успіхом у сучасному управлінні мобільними агентами, особливо в критичних умовах. Його використання передбачає застосування потужних інформаційно-комунікаційних ресурсів, таких як ефективні системи з повною зв’язністю мережі, складні та швидкодіючі інформаційні технології, методи моніторингу, обробки даних та оптимального прийняття рішень. Перевагою мережецентричного підходу є здатність до автоматизації та досягнення результативності з мінімальною участю людей. Цей підхід забезпечує нову якість управління, завдяки використанню великого обсягу ресурсів та можливостей, які сьогодні доступні. Застосування мережецентричного підходу може включати задіяння живої сили в операціях, але з мінімальною необхідністю.

Таким чином, здійснено аналіз особливостей мережецентричного управління мобільними агентами в критичних умовах та його ефективності. Показано, що впровадження мережецентричного підходу в управлінні мобільними агентами вимагає проведення нових наукових досліджень і вибору відповідних напрямів розвитку. Це дозволить досягти ефективного

використання потенціалу мережецентричного підходу та покращення управління мобільними агентами.

1.3. Основні напрямки та завдання дисертаційних досліджень

Основними факторами управління, в тому числі і мобільними агентами в умовах дії критичних факторів динамічного середовища, є фактори, що визначають ефективність системи. Цими факторами в першу чергу є результативність, тобто досяжність цілей управління – кінцевого результату процесу чи операції. В другу чергу, економічність – відношення результативності до вартості послуг управління. Фактор економічності забезпечує оптимальність управління, яка досягається шляхом обґрунтованого вибору підходів, правил, принципів та засобів для побудови потрібної системи управління з урахуванням реальних умов функціонування. При цьому будь-яка система управління характеризується рядом показників, якими є відмовостійкість, живучість, неперервність, оперативність, прихованість, захищеність від перехоплення, управління тощо. Це показники надійності, які характеризують можливість підтримання дієздатності та функціональності системи управління в часі під дією різного характеру завадо-факторів.

Підвищення ступеня та якості результативності, оптимізація управління та зменшення витрат на побудову системи і процес управління, а також підвищення будь якого з вищезазначених показників неодмінно пов’язані зі зростанням ефективності системи управління. Однак, як очевидно, порівняння цих систем з точки зору їх ефективності беззаперечно можливе в межах одного з підходів, якими є централізований, децентралізований, змішаний, комплексний підходи тощо.

Порівняння ефективності систем з різними підходами може стати далеко неадекватним, оскільки, як очевидно при фіксованій результативності

кожен з наступних підходів пов’язаний зі зростанням їх складності та, відповідно, ресурсних витрат. Не дивлячись на це вищезазначені підходи мають право на існування і кожен з них є ефективним в залежності від визначених пріоритетів на показники, особливостей в яких вони мають досягатися. Наприклад, ступінь результативності управління може мати формулювання: «…досягнення цілі будь якою ціною…», або «…терміново…».

Слід зазначити, що подібні управлінські завдання на сьогоднішній день є досить актуальними, особливо на війні та у військових операціях, в тому числі і в умовах ведення бойових дій та інших критичних умовах в Україні. За цих умов ресурсні витрати ставляться на другий план, оскільки недосягнення результативності або невчасна результативність можуть призвести до ще більших, а то і повних втрат. Однак, поняття ресурсу це не тільки наявність коштів та належне матеріальне забезпечення, це ще й людський ресурс, втрати якого залежать від участі людини в системі управління. Тому тут виникає дилема щодо людей, їх збереження чи втрат, одним із шляхів подолання якої є автоматизація управління.

Залежно від способів та засобів впливу (когнітивних чи технологічних) на підконтрольні об’єкти системи управління поділяють на три класи:

неавтоматизовані системи управління, які працюють виключно за посередництвом людини;

автоматизовані системи управління, які працюють за участю людини в контурі управління;

системи автоматичного управління, працюють без участі людини в контурі управління.

Зазначені класи є еволюційними етапами розвитку систем управління, які пов’язані з розвитком інформатизації та комунікацій. Так, є очевидним, що автоматизація управління – це водночас є: використання сучасних високоефективних швидкодіючих ІКС та мінімізація, а то і повна відсутність ролі людини в системі управління. Відсутність ролі людини хоча б навіть і в

об’єкті впливу це вже є досить важливим досягненням для критичних умов. Заміна людини машиною є одним із найголовніших кіберзавдань, та вирішенням вищезазначеної дилеми.

Таким чином, дисертаційні дослідження можуть мати декілька напрямків наукових досліджень, пов’язаних з розрізненістю підходів централізованого, децентралізованого, змішаного, комбінованого тощо. Однак, чи варто розглядати підходи, управлінська ефективність яких досягалась шляхом комбінування складних систем впливу органів управління на об’єкти управління в умовах обмеження щодо збору даних, їхньої обробки, зберігання, передавання тощо. Чи варто взагалі розглядати ці підходи в умовах наявності можливостей застосування повнозв’язних високорозвинених інформаційно-комунікаційних систем та мереж, швидкодіючих управлінських інформаційних технологій, що реалізують алгоритми обробки різної складності. Чи варто розглядати ці підходи в той час коли вже існують поняття ІТ-технологій, супутникового інтернету, хмари, кіберпростору, які дозволяють встановлення зв’язку кожного з кожним навіть для вирішення побутових питань незалежно від територіального розташування, управління рахунками в банку, розрахунками за послуги тощо.

В умовах зазначеного очевидною є можливість застосування центричного підходу управління, яка завдяки задіянню великого мережевого ресурсу сучасних ІКС може забезпечити високу ступінь результативності, в тому числі і у великих обсягах середовища із забезпеченням заданої динамічності, мобільності, завадостійкості та інших показників, де об’єктами впливу виступають МА. Також є очевидним, що пріоритетними показниками щодо досягнення цілей є показники надійності системи. Щодо зазначеного досить багато прикладів було наведено у попередньому підрозділі.

Отже, одним із ефективних шляхів підвищення ефективності систем управління мобільними агентами в мовах динамічного середовища, що характеризується наявністю різного характеру завадових та інших критичних

факторів, є застосування мережецентричного підходу. Сутність проблеми полягає в тому, що в управлінні мобільними агентами найчастіше застосовується централізоване управління. При цьому центр управління є вразливим елементом і у випадку втрати зв'язку з ним подальше управління є неможливим. Альтернативним варіантом управління є мережецентричний підхід, який дозволяє передавати управління іншому центру.

Не дивлячись на те, що процесам управління присвячено досить великий об'єм праць вчених світу, мережецентричний підхід залишається не повною мірою розглянутим. Не розглянутими залишились методи мережецентричного управління в динамічних системах, де контролюючими та підконтрольними об'єктними виступають мобільні агенти – рухомі об'єкти. Залишається не розглянутим метод мережецентричного управління з використанням диференціальної гри, який на основі рішення задач оптимізації у вигляді двох гравців може надати можливість ефективного управління в умовах невизначених збурень.

Завдяки здатності вільного пересування в просторі зазначений підхід може надати можливість суттєвого підвищення ефективності управління, забезпечуючи не тільки потрібну оперативність, а й такі показники як неперервність, стійкість та живучість. Залишились не вирішеними такі питання, як вплив зовнішніх завадо-факторів на показники ефективності мережецентричних систем, реагування цих показників на нові дестабілізуючі фактори, їхня поведінка в критичних умовах та в умовах воєнного стану тощо.

Таким чином, дисертація присвячена вирішенню важливого *наукового завдання*, що має технічну спрямованість в галузі інформаційних технологій, а саме: *розробка моделі, методу та інформаційної технології управління мобільними агентами на основі мережецентричного підходу з використанням диференціальної гри.*

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності функціонування систем управління на основі застосування

мережецентричної організації взаємодії мобільних агентів з використанням диференціальної гри в умовах зростання впливу завадо-факторів середовища.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються *часткові завдання*:

1. Провести аналіз та обґрунтувати актуальність завдання підвищення ефективності систем управління мобільними агентами в динамічному середовищі.
2. Розробити модель системи передачі даних для забезпечення мережецентричного управління мобільними агентами.
3. Розробити математичну модель моніторингу динамічного середовища мобільних агентів в умовах зростання впливу завадо-факторів.
4. Розробити метод мережецентричного управління мобільними агентами в динамічному середовищі з використанням диференціальної гри.
5. Удосконалити інформаційну технологію управління мобільними агентами в динамічному середовищі з урахуванням мережецентричної організації їхньої взаємодії та використання диференціальної гри.
6. Виконати експериментальне дослідження параметрів та оцінювання ефективності мережецентричного управління мобільними агентами.

Об'єктом дослідження є процеси управління мобільними агентами в динамічному середовищі, а *предметом* – моделі, методи та інформаційна технологія мережецентричного управління мобільними агентами з використанням диференціальної гри в критичних умовах зростання впливу завадо-факторів.

Основні напрямки та структура дисертаційних досліджень представлені на рис. 1.5.

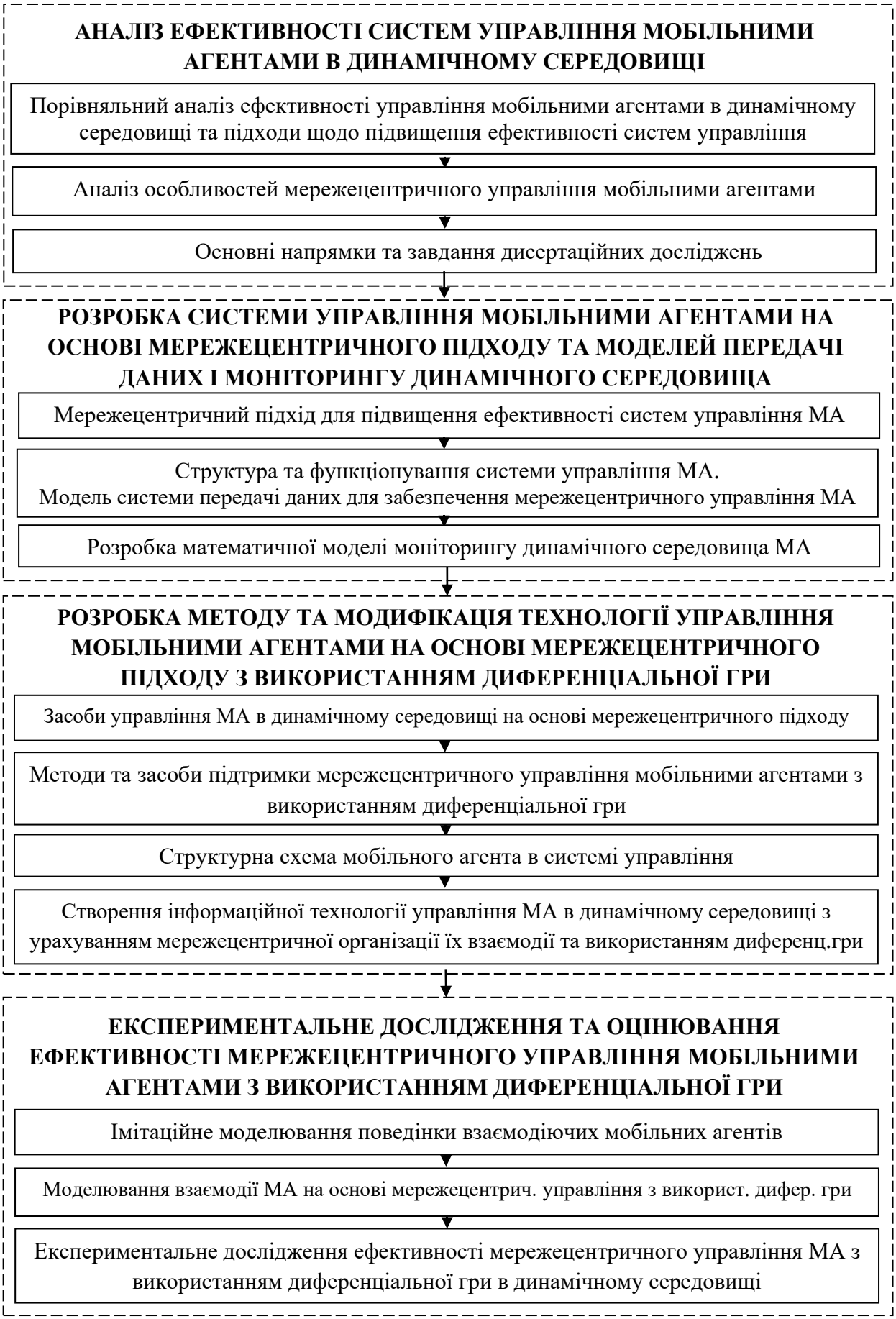


Рис. 1.5. Основні напрямки та структура дисертаційних досліджень

Дисертаційне дослідження ґрунтується на системному аналізі результатів сучасних теоретичних і прикладних розробок українських і зарубіжних вчених у сфері інформаційних технологій та технологій управління. Під час виконання дослідження використано логіко-імовірнісні та статистичні методи, методи дискретної математики, методи теорії обробки спостережень для аналізу експериментальних даних, методи формалізації даних, методи аналітичного моделювання.

Таким чином, обґрунтовано основні напрямки та завдання дисертаційних досліджень, які потребують відповідних наукових вирішень.

1.4. Висновки до розділу 1

1. Проведено аналіз та обґрунтовано актуальність завдання підвищення ефективності систем управління мобільними агентами в динамічному середовищі. Виділено особливості щодо досягнення результативності та економічності в умовах впливу критичних факторів таких, що мають місце у війні та військових операціях, в тому числі і в умовах ведення бойових дій та інших критичних умовах в Україні. Показано, що за цих умов пріоритетними показниками ефективності управління є показники надійності системи, оскільки з огляду на управління, процес досягнення цілі здійснюватиметься до того часу поки система буде життєздатною. Одним із шляхів підвищення ефективності систем управління мобільними агентами в динамічному середовищі, є застосування мережецентричного підходу.

2. Проведено аналіз мережецентричного підходу щодо управління мобільними агентами в динамічному середовищі під дією завадо-факторів. Ефективність такого управління має бути досяжним як за результативністю, так і за оптимальністю та економічністю управління. Суттєвою особливістю застосування цього підходу є те, що він вимагає задіяння певного інформаційного ресурсу, який виражається через використання ефективних систем передачі даних. Мережецентричний підхід у підвищенні ефективності

управління є кроком вперед, який завдяки блукання центру управління може забезпечити нову якість результативності. Впровадження зазначеного підходу щодо управління мобільними агентами вимагає відповідних нових наукових досліджень та вибору потрібних напрямів цих досліджень.

3. В дисертації вирішується важливе *наукове завдання*, що має технічну спрямованість в галузі інформаційних технологій, а саме: *розробка моделі, методу та інформаційної технології управління мобільними агентами на основі мережецентричного підходу з використанням диференціальної гри.*

Мета дисертаційної роботи – підвищення ефективності функціонування систем управління на основі застосування мережецентричної організації взаємодії мобільних агентів з використанням диференціальної гри в умовах зростання впливу завадо-факторів середовища.

При цьому *об'єктом дослідження є* процеси управління мобільними агентами в динамічному середовищі, а *предметом* – моделі, методи та інформаційна технологія мережецентричного управління мобільними агентами з використанням диференціальної гри в критичних умовах зростання впливу завадо-факторів.

Вирішенню цього наукового завдання та його складових присвячена дана дисертаційна робота.

РОЗДІЛ 2
РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МОБІЛЬНИМИ АГЕНТАМИ НА ОСНОВІ МЕРЕЖЕЦЕНТРИЧНОГО ПІДХОДУ ТА МОДЕЛЕЙ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ І МОНІТОРИНГУ ДИНАМІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА

2.1. Мережецентричний підхід для підвищення ефективності систем управління мобільними агентами

Мобільні агенти (МА) – це програмні або апаратні об’єкти, які можуть виконувати дії на пристроях або в мережі з метою виконання різних завдань.

На рисунку 2.1 наведено систему управління мобільними агентами на основі мережецентричного управління.

З огляду на управління МА можна виділити централізований, децентралізований та мережецентричний підхід.

У випадку централізованого управління виділяється єдиний центр, керуючим сигналам якого підпорядковуються усі інші МА. Якщо такий центр вивести з ладу або пошкодити його, то всі МА відразу перестануть бути керованими, тобто контакт з ними буде втрачено.

Недоліком децентралізованого управління є проблема координації. Тобто, якщо, наприклад, МА необхідно буде оперативно перебудуватися, то для цього потрібно передати їм великий обсяг інформації, а це значно знизить швидкодію системи управління МА в цілому.

Ідея мережецентричного управління покликана усунути виділені у попередніх моделях недоліки. Розглянемо певний керуючий контур, якому підпорядковуються деякі МА. Серед множини МА обирається мережа вузлів (її обсяг становить близько 10% від усієї множини), які володіють частиною інформації для управління. Таким чином виділяються МА з керуючими функціями. Далі серед цих вузлів обирається один, який буде виконувати роль центру управління.

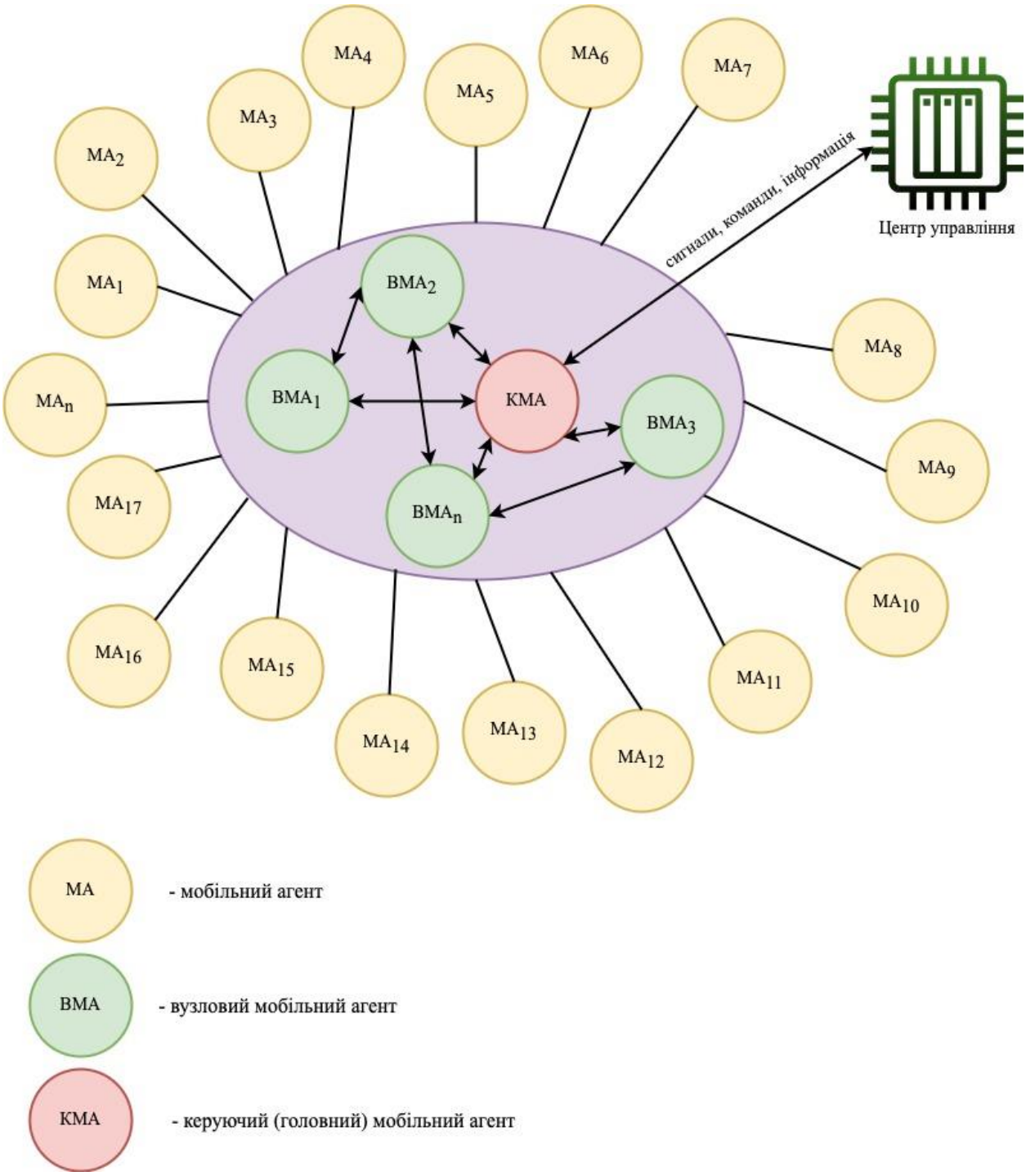


Рис. 2.1. Система управління мобільними агентами на основі мережецентричного управління

Із центру управління відбувається координація тільки вузлових МА, які в свою чергу здійснюють управління всією множиною МА. Така схема

обрана через те, що у випадку окремого управління кожним з вузлових елементів відбувається інтерференція каналів зв’язку. Наприклад, команда оперативної зміни напрямку руху призвела б до необхідності зміни координат руху для кожного вузлового МА, а це зайняло б значний час. Так само, у випадку тільки одного головного керуючого МА: раптом він перестає відповідати на сигнали, або пошкодився, або був знищений противником, то всі інші МА втрачають управління, збиваються з курсу, або перехоплюються противником.

Мережецентрична система складається із керуючого (головного) МА, який постійно передає МА команди, наприклад, задає напрямок руху. В цей же час вузловим МА він передає не лише команди, а й інформацію, яка надходить із центру управління. І якщо з якоїсь причини керуючий (головний) МА вийде з ладу, то на вузлових МА залишаться копії інформації, у тому числі керуючої інформації для усіх МА мережі. У такому випадку, щоб вивести з ладу всю мережу МА, противнику необхідно знищити всі вузлові МА до останнього. Реалізація такого сценарію малоймовірна, тому що для противника невідомо які саме МА є вузловими. Така організація мережі МА дозволяє реалізувати живучість системи управління ними.

Для мережецентричної системи характерне поняття блукаючого центру. Припустимо, що раптом певним чином, противник вирахував саме той МА, який є керуючим (головним). І якщо противнику вдається вивести його з ладу, це не впливає на стійкість системи, оскільки центр можна швидко поміняти. Новий керуючий (головний) МА обирається серед діючих вузлових МА. Тобто у будь-який момент можна змінити той вузловий МА, який керує рештою.

В описаній системі управління МА на основі мережецентричного управління можна виділити два типи інформації:

керуюча – описує глобальні координати, що передаються з центру управління до керуючого (головного) МА;

командна – описує координати, які керуючий (головний) МА, передає вузловим МА, які в свою чергу передають вже локальні координати МА. Тобто МА рухаються не глобальними координатами, а локальними, отриманими від вузлових МА.

Таким чином, здійснено огляд сутності мережецентричного підходу як способу підвищення ефективності в побудові систем управління мобільними агентами. Основною його відмінністю від інших підходів є використання блукаючого центру. При втраті зав'язків з діючим центром призначається інший, який продовжує здійснювати процес управління. Таким чином забезпечується живучість системи, яка, як це очевидно, має можливість суттєвого підвищення та забезпечує підвищення ефективності управління мобільними агентами в цілому.

2.2. Структура та функціонування системи управління мобільними агентами

Система управління МА – це програмне забезпечення, яке обслуговує чергу завдань та здійснює вибір ресурсів для виконання завдань відповідно до вимог користувача. Вона також контролює процес виконання завдань. Функціонування такої системи включає кілька ключових кроків та характеристик (рис. 2.2):

Рис. 2.2. Ключові кроки та характеристики функціонування системи управління мобільними агентами

1. *Черга запитів / повідомлень:* система управління МА підтримує список запитів / повідомлень, які мають бути виконані МА. Цей список упорядкований за пріоритетом або за часом надходження запитів / повідомлень.

2. *Вибір каналу взаємодії з МА:* за наявності доступного каналу взаємодії з МА система вибирає найбільш ефективний (швидкісний) канал для виконання. Вибір здійснюється на основі певних функціональних параметрів, таких як продуктивність, захищеність та швидкість передачі даних. Ці параметри можуть бути отримані з даних, зібраних у кожного МА.

3. *Оцінка параметрів стану запитів / повідомлень:* крім інформації про МА, система також аналізує різні параметри запитів / повідомлень, такі як обчислювальна складність та обсяг вхідних даних. Цей аспект дозволяє визначити найефективнішого МА для виконання завдання.

За допомогою виваженого підходу до оцінки параметрів, система може здійснювати відбір оптимального агента для кожного конкретного

запиту / повідомлення. Обчислювальна складність вказує на ресурсозатратність завдання, тоді як обсяг вхідних даних вказує на кількість і тип інформації, що потребує обробки.

Зіставляючи ці параметри із характеристиками доступних МА, система визначає, який з них може забезпечити оптимальну продуктивність та швидкість виконання завдання. Цей підхід забезпечує максимальне використання ресурсів та ефективність всієї системи управління МА, забезпечуючи оптимальне розподілення завдань серед МА.

4. *Рівень безпеки взаємодії з МА*: оператор визначає рівень безпеки від 0 до 1, який має бути забезпечений під час виконання завдання. Система управління МА враховує цю вимогу та вибирає МА, що відповідає заданому рівню безпеки. При цьому безпека взаємодії з МА вимагає комплексного підходу, який враховує технічні, організаційні та людські фактори. Ключовими факторами безпеки взаємодії з МА є:

аутентифікація та авторизація: важливо забезпечити ідентифікацію оператора або агента та переконатися, що тільки вповноважені особи можуть отримати доступ до агентів та їхніх функцій;

шифрування даних: всі дані, які передаються між МА та центром управління, повинні бути зашифровані, щоб унеможливити несанкціонований доступ до конфіденційної інформації;

захист від вразливостей: необхідно пильно стежити за вразливостями, які можуть бути використані зловмисниками для вторгнення або порушення функцій МА;

моніторинг та аудит безпеки: системи взаємодії з МА повинні забезпечувати можливість моніторингу активності МА та аудиту їхніх дій, щоб вчасно виявляти підозрілу або некоректну поведінку;

обмеження прав доступу: кожен МА повинен мати обмежені права доступу до ресурсів та функцій системи. Це зменшує ризик можливих зловмисницьких дій;

оновлення та патчі: необхідно регулярно випускати оновлення та патчі для своїх МА, щоб виправляти вразливості та забезпечувати належний рівень їхньої безпеки;

безпека на рівні мережі: МА можуть передавати дані через мережу. Важливо застосовувати заходи безпеки на рівні мережі для запобігання перехопленню або модифікації даних;

безпека платформи: платформи, на яких працюють МА, повинні бути також захищені від різних видів атак, таких як вторгнення на рівні операційної системи або використання вразливостей платформи.

5. *Максимальний час обробки запитів / повідомлень*: оператор також вказує максимальний час, протягом якого запит / повідомлення має бути виконане. Час обробки запитів / повідомлень може бути важливим показником продуктивності та користувацького досвіду, визначається рядом факторів, і важливо здійснювати оптимізацію на всіх рівнях системи, щоб забезпечити ефективну та швидку взаємодію МА з операторами. Система управління МА контролює виконання та забезпечує їхнє завершення в рамках встановленого часу.

6. *Моніторинг стану вузлових МА*: суть цього процесу полягає у постійному спостереженні за роботою вузлових МА, які становлять основу функціонування всієї системи управління МА. Цей моніторинг дозволяє здійснювати комплексний аналіз різних аспектів їхньої роботи. Один з головних аспектів, який система управління МА контролює, – продуктивність вузлових МА. Це включає в себе оцінку їхньої здатності виконувати завдання, передані їм центром управління, а також здатність ефективно взаємодіяти з іншими МА [13]. Моніторинг продуктивності допомагає виявляти можливі затримки чи недоліки в роботі МА і вчасно реагувати на них.

Ще одним важливим параметром є швидкість передачі даних вузловими МА. Це відображає, як швидко МА можуть обмінюватися інформацією між собою. Ефективний моніторинг цього показника допомагає

виявляти можливі «пробої» у комунікації та робити корекції для покращення загальної продуктивності системи управління МА.

Однак безпека є ключовим аспектом у роботі будь-якої системи МА. Моніторинг стану безпеки вузлових МА передбачає постійний аналіз їхньої діяльності на предмет можливих загроз та вразливостей. Це включає в себе виявлення незвичних манер поведінки, спроби несанкціонованого доступу або інші можливі порушення. Завдяки такому моніторингу система може вчасно реагувати на можливі загрози та запобігати можливим кібератакам.

Отже, моніторинг стану вузлових МА є невід'ємною частиною ефективної роботи системи управління МА. Він забезпечує відстеження продуктивності, швидкості передачі даних та рівня безпеки кожного окремого МА, що дозволяє забезпечити оптимальну та надійну функціональність всієї системи в цілому.

7. *Взаємодія з МА:* у процесі виконання завдань МА взаємодіють із системою управління, надаючи їй інформацію про свій поточний стан, отримуючи завдання для виконання та передаючи результати назад у систему.

Цей процес взаємодії відіграє ключову роль у забезпеченні ефективності та координації дій МА. Інформація, яку агенти передають системі, дозволяє здійснювати моніторинг їхнього стану та відстежувати прогрес виконання завдань. Завдяки цьому система управління може здійснювати розподіл завдань з урахуванням актуальної ситуації. Коли завдання виконані, МА надсилають назад результати, дозволяючи системі управління МА оцінити їхню продуктивність та, при необхідності, вносити коригування до стратегії виконання завдань.

Отже, взаємодія з МА є динамічним та двостороннім процесом, що сприяє оптимальному використанню ресурсів та досягненню мети системи управління [9].

В цілому система управління МА забезпечує ефективний розподіл завдань між МА, враховуючи їх можливості та вимоги оператора, що

дозволяє оптимізувати процес виконання завдань і досягти поставлених цілей.

При надходженні нового завдання оцінюється поточний стан системи управління МА шляхом направлення запитів на отримання інформації від кожного МА (якщо оцінка поточного стану системи управління МА проводилась порівняно недавно, цей пункт може не виконуватися). На основі отриманих даних, параметрів завдання, які оцінюються системою управління МА в автоматичному режимі, та вимог операторів до захищеності ресурсів системи проводяться розрахунки параметрів функціональності системи.

У результаті розрахунків визначається кількість вузлових МА, необхідних для виконання завдання з вказаними параметрами.

Далі відбувається вибір доступних МА з метою формування набору ресурсів для виконання завдання; у найпростішому випадку це може здійснюватися застосуванням маски щодо захищеності ресурсів. У разі наявності всіх ресурсів, необхідних для виконання завдання, воно розміщується на виконання. У противному випадку розраховується пріоритет завдання і воно поміщається в чергу згідно зі своїм пріоритетом. Якщо відбулось звільнення ресурсів після виконання завдання, то з черги вибирається наступне завдання на виконання. Також можливо перепланування завдань, якщо пріоритети всіх завдань, які виконуються на поточний момент часу, менше пріоритету завдання, яке знаходиться на початку черги. Крім того, перепланування може відбуватися в разі відмови МА.

Важливо зазначити, що при кожному циклі перепланування та для кожного завдання в черзі необхідно знову розраховувати оцінки функціональності системи управління МА. Це пов’язано з тим, що параметри системи постійно змінюються.

Таким чином, здійснено огляд структури та процесу функціонування системи мережецентричного управління мобільними агентами. Наведено цикли управління, які забезпечують ефективність та координацію дій цих

агентів. Показано, що взаємодія з агентами є динамічним та двостороннім процесом. Система управління забезпечує ефективний розподіл завдань між мобільними агентами, враховуючи їхні можливості та вимоги оператора. Це дозволяє оптимізувати процес виконання завдань і досягти поставленої мети.

2.3. Модель системи передачі даних для забезпечення мережецентричного управління мобільними агентами

Одним з найважливіших складових функціонування системи управління МА є канали взаємодії з МА. Розглянемо детальніше особливості їх реалізації, а також опишемо модель передачі даних в таких каналах.

Основна мета системи передачі даних (далі – ПД) полягає у визначенні оптимального рівня та кількості пристроїв ПД, їхнього розташування, схем та засобів розподілу сигналів. Головна мета системи ПД – забезпечити високу точність і стабільність сигналів в усіх точках мережі. Під час планування проєкту системи ПД вирішуються специфічні задачі, залежно від конкретного випадку [11]. Одним із головних завдань є вибір оптимальних методів побудови мережі ПД та її структури, а також розробка систем резервування. При цьому необхідно враховувати змінні з’єднання, облік обладнання, яке використовується для розподілу засобів ПД, або при тимчасових з’єднаннях, або може бути використане в подальшому, наприклад, у випадку втрати якихось агентів управління. Застосування систем автоматизованого проєктування сприяє ефективному вирішенню цих задач [15].

Обґрунтування рішень під час проєктування системи ПД, її якісного та ефективного функціонування та забезпечення процесів інформаційного обміну, передусім обумовлюється:

безпосереднім забезпеченням системою ПД результативності управління;

досягненням зазначеної результативності управління з мінімальними затратами;

забезпеченням сучасних вимог до якості ПД, виконання яких потребує розгортання високотехнологічної системи ПД;

створенням умов організації інформаційного обміну та автоматизації управління мережевою структурою системи ПД із забезпеченням характеристик її елементів;

необхідністю відносно значних матеріальних витрат на створення системи ПД та забезпечення мережецентричного управління МА.

Характерними аспектами обґрунтування рішень щодо побудови системи ПД є:

неповна визначеність умов функціонування даної системи;

протиріччя між підходами щодо створення системи ПД з найкращими характеристиками;

протиріччя між тривалістю розробки певної системи, терміном її загального життєвого циклу та новими рішеннями щодо коригування системи ПД, оптимізації та вибору структури її мережі, а також порядку функціонування.

За цих умов обґрунтування ефективності функціонування системи ПД набуває першочергового значення. Поняття ефективності є зовнішнім по відношенню до системи ПД, тобто ніякий опис системи ПД не може бути в повній мірі достатнім для введення ефективносної міри. Оцінка ефективності функціонування системи ПД вимагає врахування багатьох властивостей та вимог під час проєктування системи ПД.

Складається ситуація, яка зводиться до того, що відсутнє системне опрацювання питань вибору критеріїв оцінки побудови системи ПД. Це пояснюється, з одного боку, новизною технічних рішень побудови системи ПД, як системного об’єкта, а з іншого – відставанням у комплексному рішенні проблеми оцінки ефективності і для давно розроблених мереж ПД, що експлуатуються. Є окремі іноді не узгоджені і суперечливі критерії, які

застосовують на різних етапах аналізу й синтезу мереж ПД і зручні для рішення вузьких локальних задач, але практично не придатні для рішення задач оцінки ефективності системи ПД в цілому.

Показник ефективності у загальному вигляді представляє собою ступінь досягнення мети та як кількісний вираз ефективності визначає оптимальність функціонування системи ПД у порівнянні з іншими системами такого ж цільового спрямування.

Для того, щоб показник ефективності достатньо повно характеризував якість роботи системи ПД, він повинен враховувати всі основні особливості та властивості системи ПД, а також її функціонування та взаємодії із зовнішнім середовищем.

Таким чином, показник ефективності повинен залежати від структури системи ПД, значень її параметрів, характеру впливу зовнішнього середовища, зовнішніх та внутрішніх випадкових факторів. Іншими словами, показник ефективності визначається процесом функціонування системи ПД. З цієї точки зору, значення множини показника ефективності визначається множиною можливих процесів функціонування системи ПД, елементи якої відрізняються один від іншого за рахунок різних умов та режимів роботи системи. Кожному елементу цієї множини можливо поставити у відповідність елемент множини значень показника ефективності системи ПД.

Під критерієм ефективності будемо розуміти правило та (або) спосіб, на основі якого проводиться оцінка ефективності, тобто правило формування з початкової множини припустимих рішень, у якій кожне з рішень забезпечує можливість досягнення мети функціонування. Критерій ефективності системи ПД як оціночна функція служить для порівняння двох і більше варіантів із множини припустимих рішень та вибору найкращого в певному сенсі рішення, яке погоджене з цілями та мотивами дослідження.

Очевидно, що ефективність критеріїв визначається тим, наскільки точно вони залежать від реальних процесів, що мають місце в системі ПД.

Система ПД, як правило, являє собою складну просторово розподілену систему. Фактори, що враховуються під час проєктування складних систем, до яких відносяться і системи ПД, умовно можуть бути розділені на дві групи: *зовнішні і внутрішні*.

Система ПД відноситься до класу систем із змінною структурою, що визначається характером цілей її застосування, переміщенням об'єктів, які передають дані, цілеспрямованим впливом супротивника, що визначають зміну структури і розподілу потоків навантаження в мережі ПД. Зазначені особливості функціонування системи ПД можна віднести до *зовнішніх факторів*, що включають:

необхідні зміни у структурі та характері функціонування системи ПД, пов'язані з умовами і метою її застосування, тобто характером та інтенсивністю впливу супротивника, прийнятою системою управління, наявністю сил та засобів географічними, кліматичними й іншими умовами, що визначають структуру системи ПД:

$$D = \{ d_1 , d_2 , \dots , d_n \}; \tag{2.1}$$

структурні зміни, викликані впливом зовнішнього середовища, у тому числі засобами протидії супротивника, що веде до дезорганізації системи ПД і змін показників її функціонування:

$$S = \{ s_1 , s_2 , \dots , s_k \}; \tag{2.2}$$

функціональні зміни, обумовлені зміною характеру й інтенсивністю потоків інформації, які впливають на систему ПД та їх перерозподіл через вплив супротивника:

$$X = \{ x_1 , x_2 , \dots , x_r \}; \tag{2.3}$$

вимоги щодо встановлення з'єднань для передачі інформації (задоволення кожної такої вимоги обумовлює залучення ресурсів системи ПД):

$$C = \{ c_1 , c_2 , \dots , c_m \}. \tag{2.4}$$

До внутрішніх факторів можна віднести зміну технічного стану елементів системи ПД, тому що технічні відмови елементів системи ведуть до зниження її ресурсу стосовно передачі інформації:

$$W = \{ w_1 , w_2 , \dots , w_n \}. \quad (2.5)$$

Система мережецентричного управління МА та система ПД, що здійснює інформаційне забезпечення управління та інформаційну взаємодію її елементів, а також мережева структура системи ПД представляють собою складну організаційно-технічну систему. Вона працює в умовах змінних обставин, що мають практично повну невизначеність та носять випадковий характер. Часто ці зміни призводять до зриву мети функціонування системи, що обумовлює необхідність постійного контролю за її роботою і внесення відповідних коригувань, як у структуру мережі ПД, так і в процеси, що протікають у ній. Здійснення зазначеного можливе шляхом організації високоефективного динамічного управління системою ПД та автоматизації утворення структури мережі ПД.

Досягнення цієї мети в системі ПД можливо при вирішенні наступних основних задач:

підтримка в системі показників основних характеристик у межах потрібних заданих значень при мінімальних матеріально-технічних витратах:

$$K = \{ k_1 , k_2 , \dots , k_l \}; \quad (2.6)$$

обслуговування системи у відповідності до визначених правил обслуговування із дотриманням заданих характеристик:

$$M = \{ m_1 , m_2 , \dots , m_b \}. \quad (2.7)$$

Основними характеристиками, що описують процес функціонування системи ПД є:

навантаження, що зумовлене кількістю каналів взаємодії та їхньою активністю з МА:

$$N(t) = \varphi \{D, X, t\}; \quad (2.8)$$

стійкість системи зумовлена зовнішніми та внутрішніми факторами, що впливають безпосередньо на саму систему:

$$G(t) = \Psi\,\{D, W, S, t\}; \tag{2.9}$$

пропускна здатність системи, що у свою чергу зумовлена структурою, стійкістю системи та прийнятих методів управління:

$$A(t) = \omega\,\{D, G, C, K, M, t\}. \tag{2.10}$$

Як очевидно, вихідними параметрами системи ПД при цьому є:

навантаження, що обслужене:

$$Y(t) = \xi\,\{N, A, K, M, t\}; \tag{2.11}$$

якість функціонування системи:

$$Q(t) = \eta\,\{N, G, A, K, M, t\}. \tag{2.12}$$

Враховуючи те, що системи ПД будуються і функціонують в умовах впливу великої множини випадкових, нерегулярних факторів, параметри і характеристики системи мають подвійний характер. З однієї сторони вони є випадковими величинами, що описують стан системи, з іншої – ці параметри і характеристики є функціями часу.

Сукупність функціоналів (2.1 – 2.12) являє собою модель системи ПД при мережецентричному управлінні МА (рис. 2.3).

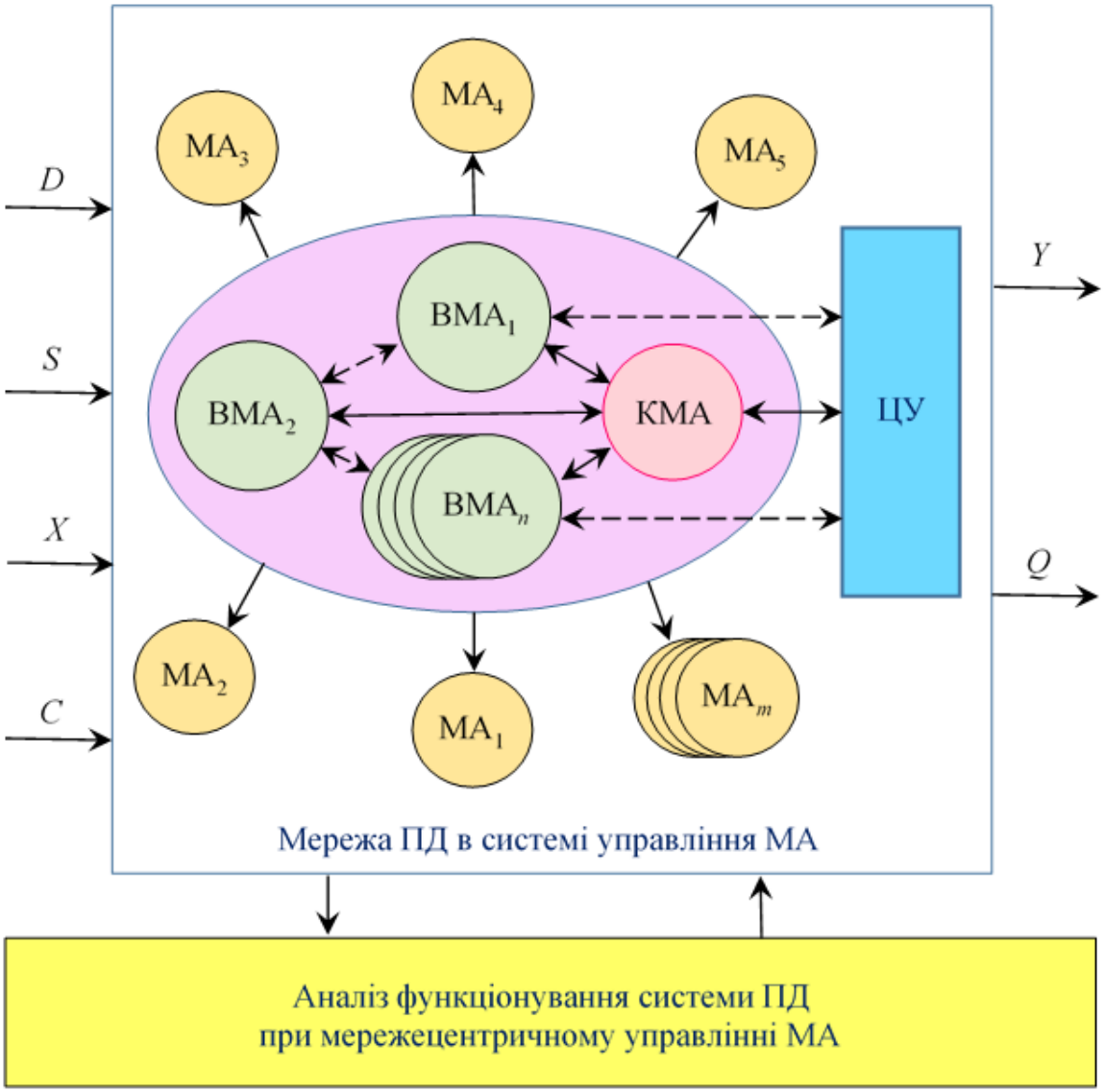


Рис. 2.3. Модель системи ПД при мережецентричному управлінні МА

Відповідно до загального визначення, ефективність – це нормований до затрат ресурсів результат дії системи передачі даних на визначеному інтервалі часу.

Виходячи з цього, основним показником ефективності системи ПД є відношення ступеня збільшення показників заданих властивостей системи, що використовують ресурс даної системи при фіксованих витратах у порівнянні з рівнем показників побудованих на інших принципах систем, до ступеня зменшення необхідного ресурсу сил, що потрібні для досягнення необхідного рівня показників заданих властивостей системи.

Для математичного формулювання критерію ефективності та його подальшого дослідження доцільно скористатися еластичною функцією.

Таким чином, показник ефективності системи ПД виражається формулою:

$$E = \lim_{\Delta Z \to 0}\left(\frac{\Delta Q}{Q} \times \frac{Z}{\Delta Z}\right) = \lim_{\Delta Z \to 0}\left(\frac{\Delta\eta\{N,G,A,K,M\}}{\eta\{N,G,A,K,M\}} \times \frac{\sum_{i=1}^{M} C^{в}{}_{i}(l_i, Y_i, x_i)}{\Delta\left(\sum_{i=1}^{M} C^{в}{}_{i}(l_i, Y_i, x_i)\right)}\right) \quad (2.13)$$

де:

E – показник ефективності системи ПД;

Q – показник якості системи ПД;

Z – повна вартість системи ПД;

N – кількість каналів взаємодії з МА;

G – стійкість системи ПД;

A – пропускна здатність системи ПД;

K – матеріально-технічні витрати для побудови системи ПД;

M – число мереж ПД;

$C^{в}{}_{i}$ – функція вартості мережі ПД;

l_i – довжина i-го каналу взаємодії з МА;

Y_i – пропускна здатність i-го каналу взаємодії з МА;

x_i – технологія організації i-го каналу взаємодії з МА.

Канали системи ПД ставлять перед собою високі вимоги щодо точності і швидкодії, оскільки від них залежить надійність та швидкість передачі інформації.

Для передачі інформації застосовується система ПД, яка базується на принципі управління по відхиленню. Проте в цій системі виникає суперечність між вимогами до підвищення динамічної точності та стійкості (покращення перехідних процесів), що становить перешкоду для поліпшення якості системи. Аналіз математичної моделі цієї системи показує значні

динамічні похибки та тривалість перехідних процесів. Це недолік суттєво впливає на продуктивність передачі даних і може призвести до неправильної інтерпретації інформації або навіть втрати зв'язку.

Після проведення порівняльного аналізу способів підвищення продуктивності (зменшення часу перехідного процесу, за який система ПД досягає синфазного стану) і динамічної точності, у роботі було обрано метод підвищення швидкодії та динамічної точності. Цей недолік не впливає на стійкість закритої частини системи, тому параметри системи можуть бути синтезовані у відповідності до умов покращення перехідного процесу та зменшення динамічних помилок. Іншими словами, під час введення зв'язку досягається злагодженість між умовами підвищення динамічної точності і стійкості. Синтез зв'язку на основі заданої дії виконано з урахуванням компенсації повільно затухаючої компоненти перехідної складової помилки, завдяки чому вдалося одночасно підвищити швидкодію і динамічну точність системи ПД [4].

Проведено аналіз стійкості наявної системи ПД, використовуючи метод логарифмічних частотних характеристик. Також було проведений аналіз режимів і методів синхронізації мереж.

Ефективність системи ПД має прямий вплив на виробництво пристроїв передачі дискретної інформації (далі – ПДІ), тоді як динамічна точність системи впливає на надійність передачі.

Як показав розрахунок перехідної складової помилки, час перехідного процесу існуючої системи ПД, що визначає її швидкодію, дорівнює $t_p = 0{,}8\,c$, а з урахуванням розрахунків динамічних помилок швидкісна помилка при $\Delta f = 20 Гц$ складає $10{,}048^\circ$. При зростаючих вимог до продуктивності і надійності передачі дискретної інформації ці показники системи ПД не повністю задовольняють підвищеним вимогам. Через це з ціллю підвищення продуктивності та надійності передачі дискретної

інформації необхідно підвищувати швидкодію і динамічну точність системи ПД [6].

Одним із способів зменшення динамічних помилок системи автоматичного управління, до яких відноситься і система ПД, є підвищення коефіцієнта підсилення системи в розімкненому стані K_p. Але при збільшенні K_p зменшується запас стійкості системи, погіршується перехідний процес, зменшується її швидкодія, тобто в традиційних системах за принципом управління по відхиленню є протиріччям між умовою підвищення динамічної точності та умовою стійкості (умовою покращення перехідного процесу).

Включення традиційних коригуючих пристроїв у систему ПД може, до певної міри, підвищити динамічну точність та поліпшити перехідні процеси системи. Однак це не вирішує зазначену вище проблему, яка перешкоджає покращенню показників якості системи.

Ефективним способом підвищення динамічної точності є збільшення порядку стійкості системи. Це можливо шляхом включення інтегруючого елемента в замкнутий контур системи. Однак таке збільшення порядку стійкості призводить до запізнення коливань по фазі в області частот, рівному 90°, що, в свою чергу, погіршує перехідні процеси системи [4].

Під час побудови систем автоматичного управління за принципом комбінованого управління, який поєднує принцип управління по відхиленню з принципом управління за невдоволенням, виключається протиріччя між умовами підвищення динамічної точності і стійкості (умовою покращення перехідного процесу). Принцип управління по відхиленню здійснюється за допомогою зворотного зв’язку, тоді як принцип управління за невдоволенням реалізується через розімкнутий зв’язок з заданим впливом. Розімкнутий зв’язок не впливає на стійкість замкнутої частини системи, тому параметри системи можуть бути синтезовані з урахуванням вимог до підвищення

динамічної точності або покращення перехідного процесу, не обтяжуючи стійкість системи [2].

З метою підвищення швидкодії та динамічної точності системи ПД вводиться розімкнутий зв'язок залежно від заданої дії заданого впливу, що дозволяє побудувати комбіновану систему. Функціональна схема такого комбінованого каналу системи ПД зображена на рисунку 2.4.

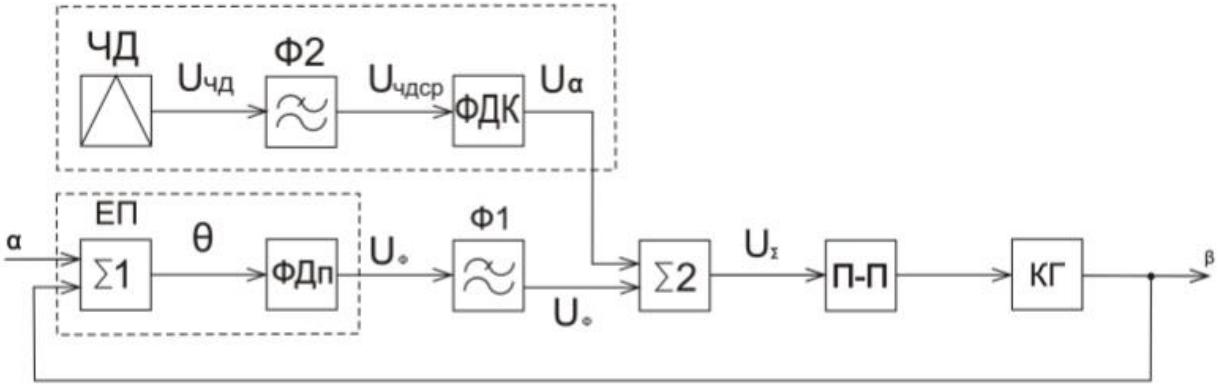


Рис. 2.4. Функціональна схема комбінованого каналу системи ПД

Новими елементами в порівнянні з існуючою системою ПД є введений розімкнений зв'язок по заданій дії (далі – ЗЗД) (фазі $\alpha_{\Delta\omega}$), за допомогою якої на суматор Σ подається сигнал, що являється функцією заданої дії.

На математичній моделі передаточна функція зв'язку по заданій дії позначена $W_{\alpha}(p)$ (рис. 2.5).

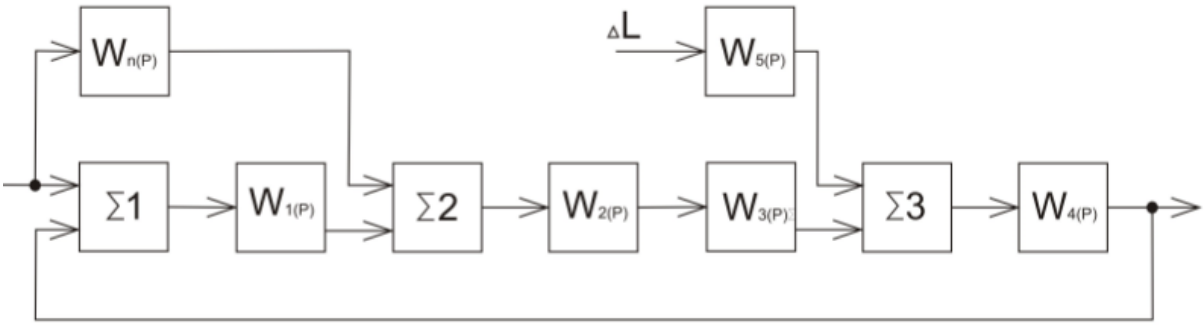


Рис. 2.5. Математична модель передаточної функції зв'язку по заданій дії

Для поліпшення продуктивності системи ПД, ми вибираємо ефективний та відносно простий метод, який включає компенсацію повільно затухаючих компонентів перехідної складової помилки через зв'язок, заснований по заданій дії.

Необхідно визначити передаточну функцію $W_{B\alpha}(p)$ зв'язку по заданій дії $\alpha_{\Delta\omega}(p)$ із умови подавлення повільно затухаючої компоненти, що відповідає парі комплексних коренів $P_{1,2} = -3{,}9991 \pm J10{,}7124 = \alpha \pm J\omega$ характеристичного рівняння системи.

Відповідно до математичної моделі комбінованої системи (рис. 2.4) знаходимо її передаточну функцію по помилці.

$$W_{\theta K}(p) = \frac{1 - W_2(p)W_\alpha(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)} = \frac{[F_2(p)F_{B\alpha}(p) - D_2(p)D_{B\alpha}(p)F_1(p)]}{[F_1(p)F_2(p) + D_1(p)D_2(p)]F_{B\alpha}(p)} = \frac{M_0(p)F_1(p)}{F_\theta(p)F_{B\alpha}(p)} \tag{2.14}$$

де: $M_0(p) = F_2(p)F_{B\alpha}(p) - D_2(p)D_{B\alpha}(p); \quad F_\theta(p) = F_1(p)F_2(p) + D_1(p)D_2(p)$

або після підстановки значень $D_i(p)$ та $F_i(p)$, $i = 1{,}2$

$$W_{\theta K}(p) = \frac{[(T_3 p + 1)pF_{B\alpha}(p) - K_2 D_{B\alpha}(p)](T_1 p + 1)}{[(T_1 p + 1)(T_3 p + 1)p + K_1 K_2]F_{B\alpha}(p)} \tag{2.15}$$

Здатність до компенсації повільно затухаючих компонентів перехідної складової помилки за допомогою зв'язку по заданій дії пояснюється тим, що поліноми $D_{B\alpha}(p)$ та $F_{B\alpha}(p)$, а також передаточна функція $W_{B\alpha}(p)$ входять в чисельник передаточної функції по помилці комбінованої системи, як видно з формули (2.15). Оскільки зв'язок по заданій дії не має впливу на стійкість замкненої частини системи, ми маємо волю вибору цих поліномів. За відповідного вибору зазначених поліномів з'являється можливість компенсувати повільно затухаючі компоненти перехідної складової помилки.

Записуємо характеристичне рівняння замкнутої частини системи:

$$F_\theta(p) = (T_1 p + 1)(T_3 p + 1)p + K_1 K_2 = C_3 p^3 + C_2 p^2 + C_1 p + C_0 =$$
$$= 0{,}0018p^3 + 0{,}11p^2 + p + 12{,}5 = 0$$

Корені даного рівняння були визначені раніше:

$$P_{1,2} = -3{,}9991 \pm J10{,}7124 = \alpha \pm J\omega; \ \alpha = -3{,}9991, \omega = 10{,}7124$$

$$P_3 = -53{,}113$$

Визначаємо кількість компонент перехідної складової помилки (кількість коренів характеристичного рівняння замкненої частини системи), яку необхідно скомпенсувати. Оскільки $|\alpha| \ll P_3$ то покращення перехідного процесу, як зазначено раніше, можна досягти за рахунок компенсування двох комплексно спряжених коренів: $P_1 = \alpha + J\omega$ та $P_2 = \alpha - J\omega$, що відповідає повільно затухаючій коливальній компоненті перехідної складової помилки. Таким чином $K = 2$ – число коренів, яке необхідно компенсувати.

Визначаємо вид передаточної функції $W_{Ba}(p)$ зв'язку по заданій дії, що відповідає умові зберігання порядку астетизму системи, вимогам компенсації K коренів характеристичного рівняння замкнутої частини системи та фізичної реалізованості.

Для зберігання порядку астетизму системи необхідно, щоб порядок нижчої похідної заданої дії, що вводиться в систему за допомогою розімкнутого зв'язку, дорівнював або був більший порядку астетизму ν існуючої системи.

Порядок астетизму існуючої системи $v = 1$. Через це нижчій похідній заданої дії приймаємо її першу похідну.

Для компенсації K коренів характеристичного рівняння замкнутої системи необхідно ввести K похідних від заданої дії. У випадку, що розглядається $K = 2$, через це потрібно ввести дві похідні від заданої дії – першу та другу.

Умова фізичної реалізованості передаточної функції зводиться до того, що порядок n її чисельника повинен бути менше або дорівнювати порядку m її знаменника: $n \leq m$

Передаточна функція $W_{B\alpha}(p)$ зв'язку по заданій дії, що відповідає перерахованим вимогам має вигляд:

$$W_{B\alpha}(p) = \frac{\tau_2 p^2 + \tau_1 p}{d_2 p^2 + d_1 p + d_0} = \frac{D_{B\alpha}(p)}{F_{B\alpha}(p)} \tag{2.16}$$

Вибираємо параметри полінома $F_{B\alpha}(p)$. Рівняння $F_{B\alpha}(p) = 0$ містить корені $P_{\alpha 1}$ та $P_{\alpha 2}$, які вносять зв'язок по заданій дії в систему. Через це кожний із цих коренів по абсолютній величині повинен бути більше речових частин комплексно-спряжених коренів P_1 та P_2.

Вибираємо:

$$P_{\alpha 1} = 7\alpha = 7(-3{,}9991) = -27{,}993$$
$$P_{\alpha 2} = 10\alpha = 10(-3{,}9991) = -39{,}991$$

При цьому:

$$F_{B\alpha}(p) = d_2 p^2 + d_1 p + d_0 = (p - P_{\alpha 1})(p - P_{\alpha 2}) = (p + 27{,}993)(p + 39{,}991) =$$
$$= p^2 + (27{,}993 + 39{,}991)p + 27{,}993 * 39{,}991 = p^2 + 67{,}984p + 1119{,}4681$$

Звідси:

$$d_2 = 1;\ d_1 = 67{,}984;\ d_0 = 1119{,}4681 \tag{2.17}$$

Розбиваємо характеристичний поліном замкнутої частини системи $F_\theta(p)$ на два у відповідності з отриманими його коренями:

$$F_\theta(p) = (T_1 p + 1)(T_3 p + 1)p + K_1 K_2 = T_1 \cdot T_3 p^3 + (T_1 + T_3)p^2 + p + K_1 K_2 =$$
$$= T_1 \cdot T_3 \left[p^3 + \frac{T_1 + T_3}{T_1 \cdot T_3} p^2 + \frac{1}{T_1 \cdot T_3} p \frac{K_1 K_2}{T_1 \cdot T_3}\right] = T_1 \cdot T_3 [(p - p_1)(p - p_2)](p - p_3) =$$
$$= T_1 \cdot T_3 \cdot F_{01}(p) \cdot F_{02}(p) \tag{2.18}$$

де:

$$F_{01}(p) = (p - p_1)(p - p_2) = (p + 3{,}9991 + J10{,}7124)(p + 3{,}9991 - J10{,}7124) =$$
$$= p^2 + 3{,}9991p - J10{,}7124 + 3{,}9991^2 - J10{,}7124 \cdot 3{,}9991 + 0{,}7124p +$$
$$+ J10{,}7124 \cdot 3{,}9991 - 10{,}7124^2 = p^2 + 7{,}9982p + 130{,}7486 \qquad (2.19)$$

$$F_{02}(p) = p - p_3 = p + 53{,}13 \qquad (2.20)$$

Один із співмножників – поліном $F_{01}(p)$ містить комплексно спряжені корені, які необхідно компенсувати.

Передаточну функцію комбінованої системи (2.14) з урахуванням (2.18) записуємо у вигляді:

$$W_{\theta K}(p) = \frac{M_0(p)F_1(p)}{T_1T_3F_{01}(p)F_{02}(p)F_{B\alpha}(p)} \qquad (2.21)$$

де: $M_0(p) = F_2(p)F_{B\alpha}(p) - D_2(p)D_{B\alpha}(p)$

Оскільки в поліном $M_0(p)$ входить поліном $D_{B\alpha}(p)$ чисельника передаточної функції $W_{B\alpha}(p)$ зв’язку по заданій дії, то під час вибору його параметрів можна компенсувати нулі полінома $F_{01}(p)$.

Для цього поліном $M_0(p)$ розбиваємо на два співмножники $M_0(p) = M_{01}(p)\ M_{01}(p)$. При цьому передаточна функція (2.21) приймає вигляд:

$$W_{\theta K}(p) = \frac{M_{01}(p)M_{02}(p)F_1(p)}{T_1T_3F_{01}(p)F_{02}(p)F_{B\alpha}(p)} \qquad (2.22)$$

Умовою компенсації нулів поліному $F_{01}(p)$ нулями полінома $M_{01}(p)$ являється:

$$F_{01}(p) = M_{01}(p) \qquad (2.23)$$

Для визначення $M_{02}(p)$ потрібно поліном $M_0(p)$ розділити на поліном $F_{01}(p)$:

$$M_{02}(p) = \frac{M_0(p)}{F_{01}(p)}$$

При виконанні умови компенсації (2.23) передаточна функція $W_{\theta K}(p)$ прийме вигляд:

$$W_{\theta K}(p) = \frac{M_{02}(p)F_1(p)}{T_1T_3F_{02}(p)F_\alpha(p)} \tag{2.24}$$

Згідно (2.19), (2.20) та (2.21) поліном $M_0(p)$ визначається виразом:

$$M_0(p) = F_2(p)F_\alpha(p) - D_2(p)D_\alpha(p) =$$
$$=(T_3p+1)\,p\left(d_2p^2 + d_1p + d_0\right) - (K_2\tau_2p^2 + \tau_1p) =$$
$$= a'_4p^4 + a'_3p^3a'_2p^2a'_1p;$$

$a'_4 = T_3d_2 = 0{,}09\cdot 1 = 0{,}09;$

$a'_3 = T_3d_1 + d_2 = 0{,}09\cdot 67{,}984 + 1 = 7{,}11861;$

$a'_2 = T_3d_0 + d_1 - K_2\tau_2 = 0{,}09\cdot 1119{,}4681 + 67{,}984 - 12{,}5\tau_2 = = 168{,}739 - 12{,}5\tau_2$

$a'_1 = d_0 - K_2\tau_1 = 1119{,}4681 - 12{,}5\tau_1$

$$\frac{M_0(p)}{F_{01}(p)} = \frac{0{,}09p^4 + 7{,}11861p^3 + (168{,}739 - 12{,}5\tau_2)p^2 + (1119{,}4684 - 12{,}5\tau_1)p}{p^2 + 7{,}99825p + 130{,}7486} = M_{02}(p) + \textit{залишок},$$

де: $M_{02}(p) = 0{,}09p^2 + 6{,}39877p;$

$$\textit{залишок} = \frac{105{,}79275 - 12{,}5\tau_2p^2 + (1119{,}4684 - 12{,}5\tau_1 - 836{,}63)p}{p^2 + 7{,}99825p + 130{,}7486}$$

Щоб залишок дорівнював нулю, необхідно виконати умови:

$105{,}79275 - 12{,}5\tau_2 = 0;$

$1119{,}4684 - 836{,}63 - 12{,}5\tau_1 = 0,$

у відповідності з яким і знаходимо значення коефіцієнтів τ_1 та τ_2:

$$\tau_1 = \frac{282{,}8384}{12{,}5} = 22{,}627072; \quad \tau_2 = \frac{105{,}79275}{12{,}5} = 8{,}46 \tag{2.25}$$

Таким чином

$$M_{02}(p) = 0{,}09p^2 + 6{,}39877p \tag{2.26}$$

Підставивши значення параметрів в (2.24), отримаємо передаточну функцію по помилці комбінованої системи:

$$W_{\theta K}(p)=\frac{\theta_{\alpha K}(p)}{\alpha_{\omega}(p)}=\frac{M_{02}(p)F_1(p)}{T_1T_3F_{02}(p)F_{B\alpha}(p)}=\frac{(0{,}09p^2+6{,}39877p)(0{,}02p+1)}{0{,}02\ \ 0{,}09(p+53{,}111)(p^2+67{,}984p+1119{,}4684)}=$$

$$=\frac{a_3p^3+a_2p^2+a_1p}{0{,}0018(c_3p^3+c_2p^2+c_1p+c_0)}=\frac{D_{\theta K}(p)}{F_{\theta K}(p)} \qquad (2.27)$$

де:

$a_3=0{,}09\cdot 0{,}02=0{,}0018;\ C_3=1;$

$a_2=0{,}09+6{,}398775\cdot 0{,}02=0{,}2179955;\ \ C_2=53{,}111+67{,}984=121{,}095;$

$a_1=6{,}39877;\ C_1=1119{,}4684+53{,}111\cdot 67{,}984=4730{,}1663;$

$C_0=1119{,}4684\cdot 53{,}11159456{,}123$

Після компенсації комплексно-спряжених коренів P_1 та P_2 характеристичне рівняння $F_{\theta K}(p)=0$ комбінованої системи має речові корені

$P_3=-53{,}111 \quad P_{\alpha 1}=-27{,}993; \quad P_{\alpha 2}=-39{,}991.$

Зображення помилки комбінованої системи при заданій дії

$$\alpha_{\Delta\omega}(p)=\frac{D_{\alpha}(p)}{F_{\alpha}(p)};$$

$$\theta_{\alpha K}(p)=W_{\theta K}(p)\alpha(p)=\frac{M_{02}(p)F_1(p)}{T_1T_3F_{02}(p)F_{B\alpha}(p)}\cdot\frac{D_{\alpha}(p)}{F_{\alpha}(p)}=\frac{D_{\theta K}(p)}{F_{\theta K}(p)}\cdot\frac{D_{\alpha}(p)}{F_{\alpha}(p)};$$

Перехідна складова помилки:

$$\theta_{ПК}(t)=A_3e^{P_3t}+A_{\alpha 1}e^{P_{\alpha 1}t}+A_{\alpha 2}e^{P_{\alpha 2}t};$$

де: $A_i=\dfrac{D_{\theta K}(P_i)D_{\alpha}(P_i)}{F'_{\theta K}(P_i)F_{\alpha}(P_i)},\ i=1,\alpha 1,\alpha 2.$

При зміні заданої дії по закону одиничної ступінчатої функції $\alpha(t)=1,\alpha(p)=\dfrac{1}{p}$, початкове значення і-ї компоненти перехідної складової помилки:

$$A_i = \frac{D_{\theta K}(P_i)}{F'_{\theta K}(P_i)} \cdot \frac{D_\alpha(P_i)}{F_\alpha(P_i)} = \frac{a_3 p_i^{\,3} + a_2 p_i^{\,2} + a_1 p_i}{0{,}0018\left(3C_3 p^2 + 2C_2 p_i + C_1\right)} \cdot \frac{1}{p_i} =$$

$$= \frac{a_3 p_i^{\,3} + a_2 p_i + a_1}{0{,}0018\left(3C_3 p^2 + 2C_2 p_i + C_1\right)} \qquad (2.28)$$

Підставивши в (2.28) значення коефіцієнтів із (2.19) та коренів отримаємо:

$$A_3 = \frac{0{,}0018(-53{,}111)^2 + 0{,}2179955(-53{,}111) + 6{,}398775}{0{,}0018\left[3 \cdot 1 \cdot (-53{,}111)^2 + 2 \cdot 121{,}095(-53{,}111) + 4730{,}1663\right]} = -0{,}169848$$

$$A_{\alpha 1} = \frac{0{,}0018(-27{,}993)^2 + 0{,}217995(-27{,}993) + 6{,}398775}{0{,}0018\left[3 \cdot 1 \cdot (-27{,}993)^2 + 2 \cdot 121{,}095(-27{,}993) + 4730{,}1663\right]} = 3{,}147$$

(корінь зв’язку по заданій дії, що вноситься $P_{\alpha 1} = -27{,}993$)

$$A_{\alpha 2} = \frac{0{,}0018(-39{,}991)^2 + 0{,}217995(-39{,}991) + 6{,}398775}{0{,}0018\left[3 \cdot 1 \cdot (-39{,}991)^2 + 2 \cdot 121{,}095(-39{,}991) + 4730{,}1663\right]} = -1{,}977$$

Перехідна складова помилки комбінованої системи:

$$\theta_{ПК}(t) = A_1 e^{P_1 t} + A_{\alpha 1} e^{P_{\alpha 1} t} + A_{\alpha 2} e^{P_{\alpha 2} t} =$$

$$= -0{,}169848 e^{-53{,}111t} - 1{,}9977 e^{-39{,}991t} + 3{,}147 e^{-27{,}993t}$$

Компоненти перехідної складової помилки, розраховані на ПЕОМ: $-0{,}169848 e^{-53{,}111t} -$ кривою 1; $-1{,}9977 e^{-39{,}991t} -$ кривою 3; $3{,}147 e^{-27{,}993t} -$ кривою 2 , а перехідна складова помилки $\theta_{ПК}(t) -$ кривою 4.

Згідно кривій 4, відповідній перехідній, що є складовою помилки $\theta_{ПК}(t)$, час перехідного процесу при одиничному стрибку заданої дії $t_{рк} = 0{,}27c$, тобто із введенням зв’язку по заданій дії та компенсації повільно затухаючої коливальної складової, час перехідного процесу зменшився в:

$$\frac{t_p}{t_{рк}} = \frac{0{,}8}{0{,}27} = 2{,}96 раз$$

Крім того, замість коливального перехідна функція має аперіодичний характер, а перерегулювання зменшилось від $\sigma = 30\%$ до нуля.

Уточнюємо передаточну функцію зв'язку по заданій дії. Згідно (2.16), (2.17) та (2.25):

$$W_{\beta\alpha}(p) = \frac{\tau_2 p^2 + \tau_1 p}{d_2 p^2 + d_1 p + d_0} = \frac{8{,}46 p^2 + 22{,}627072 p}{p^2 + 67{,}984 p + 1119{,}4681}$$

У відповідності із значеннями коефіцієнтів реальних диференціальних пристроїв $d_0 = 1.$ Поділивши знаменник та чисельник передаточної функції $W_\alpha(p)$ на $d_0 = 1119{,}4681$, отримаємо:

$$W_{\beta\alpha}(p) = \frac{0{,}007557 p^2 + 0{,}020221234 p}{0{,}00089328 p^2 + 0{,}060728 p + 1} = \frac{0{,}020221234 p(0{,}37388 p + 1)}{(T_2 p + 1)(T_4 p + 1)},$$

де: $T_2 = \frac{1}{P_{\alpha 1}} = -\left(\frac{1}{-27{,}993}\right) = 0{,}03572;$

$T_4 = \frac{1}{P_{\alpha 2}} = -\left(\frac{1}{-39{,}991}\right) = 0{,}0250056;$

або

$$W_{\beta\alpha}(p) = \frac{\tau_3 p(\tau_4 p + 1)}{(T_2 p + 1)(T_4 p + 1)} \tag{2.29}$$

де: $\tau_3 = 0{,}02021234; \tau_4 = 0{,}37388$

Згідно (2.16) для реалізації передаточної функції зв'язку по заданій дії $\alpha_\omega(t)$ необхідно отримати першу похідну від $\alpha_\omega(t)$ (ланка $\frac{\tau_2 p}{T_2 p + 1}$) та пропустити її через диференціальну фазовипереджаючу ланку $\left(\frac{\tau_4 p}{T_4 p + 1}\right)$. Оскільки заданою дією системи являється фаза напруги $\alpha(t) = \omega(t)t,$, то першою похідною від заданої дії буде частота напруги: $\frac{d\alpha(t)}{dt} = \omega(t)$

У розглянутому випадку відхилення фази викликається відхиленням частоти $\Delta\omega,$ через це за допомогою розімкнутого каналу потрібно отримати напругу, пропорційну $\Delta\omega$. Таку напругу можна отримати за допомогою частотного дискримінатора, який настроєний на номінальну частоту

задаючого генератора (поступаючих імпульсів). Функціональна схема зв'язку по задаючій дії зображена на рисунку 2.6.

Фільтр (Ф) підключений до вхідного сигналу частотного дискримінатора (ЧД). Вихідний сигнал з Ф подається на диференціальний фазо-випереджувальний контур (ФДК), який має передаточну функцію $\left(\frac{\tau_4 p}{T_4 p+1}\right)$.

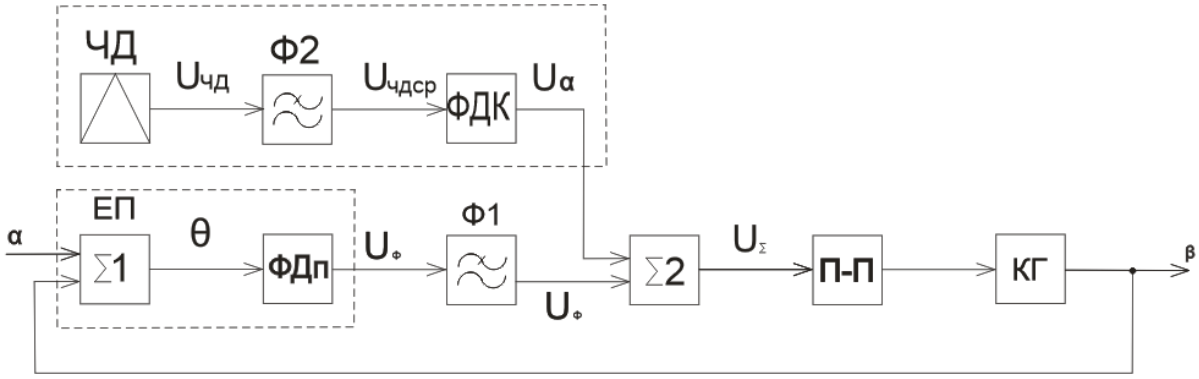


Рис. 2.6. Функціональна схема зв'язку по задаючій дії

У якості частотного дискримінатора обрана схема з компаратором, яка є найпростішою для реалізації. Функціональна схема, що використовує компараторний частотний дискримінатор, показана на рисунку 2.7.

Рис. 2.7. Функціональна схема частотного дискримінатора

Ця схема відрізняється від схеми існуючої системи тим, що введений розімкнутий зв'язок по заданій дії, принципова схема якої була розглянута раніше.

Зв'язок по заданій дії, синтезований відповідно до умов компенсації повільно затухаючих, компонент перехідної складової помилки, зазвичай, впливає і на динамічні помилки системи.

Зробимо розрахунок динамічних помилок модернізованої комбінованої системи ПД.

Передаточна функція комбінованої системи ПД для відхилення:

$$W_{\theta K}(p)=\frac{\theta_{aK}(p)}{\alpha_{\Delta\omega}(p)}=\frac{0{,}0018p^3+0{,}2179955p^2+6{,}39877p}{0{,}0018\left(p^3+121{,}095p^2+4730{,}1663p+59456{,}123\right)}=$$

$$=\frac{0{,}0018p^3+0{,}2179955p^2+6{,}39877p}{0{,}0018p^3+0{,}217971p^2+85{,}143004p+1070{,}2102},$$

звідси:

$$\theta_{aK}(p)=W_{\theta K}(p)\alpha_{\Delta\omega}(p)$$

Для визначення динамічних помилок системи ПД можна скористатися формулою операторного визначення, що базується на кінцевому значенні функції.

$$\theta_{aKBCT}(t)=\lim_{p\to 0}\ pW_{\theta K}\alpha_{\Delta\omega}(p)$$

При одиничній ступінчатій заданій дії (стрибок фази):

$$\alpha_{\Delta\omega}(t)=\alpha\Delta\omega_0,\alpha_{\Delta\omega}(p)=\frac{\alpha\Delta\omega_0}{p}$$

$$\theta_{aKBCT}(t)=\lim_{p\to 0}\ p\frac{0{,}0018p^3+0{,}2179955p^2+6{,}39877}{0{,}0018p^3+0{,}2179955p^2+85{,}143004p+1070{,}2102}\cdot\frac{\alpha\Delta\omega_0}{p}=0$$

При зміні фази $\alpha_{\Delta\omega}$ по лінійному закону $\alpha_{\Delta\omega}(t)=\Delta\omega t,$ $\alpha_{\Delta\omega}(p)=\frac{\Delta\omega}{p^2}$, що має місце при постійному відхиленні $(\Delta\omega=const)$ частоти опорної напруги від частоти настройки КГ,

$$\theta_{aKBCT}(t)=\lim_{p\to 0}\ p\frac{0{,}0018p^3+0{,}2179955p^2+6{,}39877}{0{,}0018p^3+0{,}2179955p^2+85{,}143004p+1070{,}2102}\cdot\frac{\Delta\omega}{p^2}=$$

$$=\frac{6{,}39877}{1070{,}2102}\cdot\Delta\omega=0{,}059789854\cdot\Delta\omega$$

При $\Delta f=20Гц,$ тобто $\Delta\omega=2\pi\Delta f=6{,}28\cdot 20=125{,}6\frac{1}{c}$

$$\theta_{aKBCT}(t)=0{,}059789854\ \ 125{,}6=7{,}596°$$

Оскільки існуюча та модернізована системи мають астетизм першого порядку $(v=1)$, то динамічні помилки цих систем під час стрибка фази поступаючої послідовності імпульсів дорівнює нулю, а при відхиленні частоти $\Delta\omega$ поступаючих на приймальний пункт імпульсів динамічні помилки пропорційні $\Delta\omega$. Отже, в комбінованій системі ці динамічні помилки менші ніж в існуючій у:

$$\frac{\theta_{aBBC}(t)}{\theta_{aKKBC}(t)} = \frac{10{,}048}{7{,}596} = 1{,}34\,разu$$

Звідси, в результаті модернізації – введення зв’язку по заданій дії – вдалось не тільки підвищити швидкодію системи ПД в 2,96 рази, а й також зменшити її швидкісну динамічну помилку в 1,34 рази.

Таким чином, розроблено модель системи передачі даних при мережецентричному управлінні мобільними агентами. Модель розроблено вперше. Розроблена модель ґрунтується на оптимізації системи передачі даних з блукаючим центром управління, що дозволяє забезпечити задану ефективність мережецентричного управління. Модель є відображенням процесів забезпечення інформаційного обміну між МА, ВМА, КМА та ЦУ з оптимізацією побудови структури мережі з кожним її оновленням. Критерієм оптимальності цієї побудови є мінімум затрат ресурсів для забезпечення заданої ефективності управління. Модель передбачає автоматизацію створення системи ПД та можливість встановлення зв’язку з великою кількістю агентів.

2.4. Розробка математичної моделі моніторингу динамічного середовища мобільних агентів

Одним з головних питань сучасних автоматизованих систем управління, результативність яких пов’язана з досягненням широкомасштабних цілей, які для цього в своїй структурі використовують

ефективні ІТ-технології різної складності, які є оптимальними з точки зору участі в системі людини, є постійний моніторинг середовища управління, стану справ у процесі управління. У порівнянні з неавтоматизованими системами завдання такого моніторингу виконував зворотній зв'язок, що передбачається за циклом Деминга-Шухарта, де орган управління сповіщався про результативність виконання завдання та стан об'єктів впливу і середовища, готовність щодо виконання наступних дій, завдань тощо. На відміну від неавтоматизованих систем моніторинг у порівнянні зі зворотнім зв'язком є більш масивним, швидкодіючим та складним.

Моніторинг є елементом автоматизації управління та входить до ІТ-технологій, що забезпечують управління. Є очевидним, що розвиток ІТ-технологій, який пов'язаний зі зростанням їхньої складності та ресурсного забезпечення, сприяє і зростанню складності та ресурсного забезпечення моніторингу, який здійснюється у нерозривному зв'язку з іншими етапами, елементами управління.

Мережецентричний підхід щодо побудови системи управління є еволюційним етапом розвитку цих систем, який на шляху до синтезу автоматичних систем забезпечує і підвищення якості цілей результативності, і забезпечує певний оптимум їх досягання. При цьому найбільший оптимум – це відсутність людини на об'єктах впливу, що дозволяє високоефективне їх використання в критичних умовах, умовах війни чи бойових дій. Це збереження людського ресурсу та людського життя за рахунок перевитрати інформаційно-комунікаційного та інформаційно-технологічного ресурсів. Це крок вперед щодо забезпечення національної безпеки та безпеки людства і мінімум людських втрат.

Для побудови ефективної системи мережецентричного управління, побудови ефективної ІТ-технології управління із забезпеченням потрібних параметрів є необхідним розроблення математичної моделі моніторингу параметрів динамічного середовища, як більш загального щодо функціонування МА.

Модель фокусується на динаміці взаємодії зловмисника та захисника, щоб виявити інвестиційні стратегії, які застосовують супротивники.

Модель є захисником, що захищає активи від групи зловмисників, які намагаються порушити безпеку активів фірми за допомогою кібератак. Актив може набувати різних форм, таких як список клієнтів, веб-сайт, регістр кредиторської заборгованості або стратегічний план. Підвищена безпека може бути пов’язана із захистом конфіденційності, цілісності, автентичності або доступності активу для авторизованих користувачів.

Формування моделі обмежено трьома можливими загрозами, які можна розглядати як окремі вектори безпеки доступу до інформаційних активів компанії. Кожен інформаційний актив може бути захищений шляхом інвестування у відповідний захист. Для кожного вектора безпеки існує один спосіб доступу та один спосіб захисту. Нарешті, захист ефективний, якщо він може відображати вхідні атаки.

Модель складається із трьох підмоделей, які наведені на рисунку 2.8: підмоделі захисника, підмоделі середовища взаємодії МА та підмоделі зловмисника.

Модель захисника є механізмом захисту від кібератак, спрямованих на порушення безпеки інформаційного активу. У кожному періоді захисник приймає рішення про вибір цільового інформаційного ресурсу інвестицій визначення своєї зміни захисту. Передбачається, що захисники мають базовий захист для кожного вектора, а їх можливостей достатньо для додаткових зусиль, які вживаються у разі порушень безпеки.

Захисник організовує захист власних інформаційних активів за допомогою засобів протидії, що відображаються трьома векторами безпеки (A, B та C). Результат захисту, зрештою, відбивається на репутації фірми, яку можна оцінити фінансовими результатами. У моделі вектори безпеки описуються станом уразливості кожного вектора. Після закінчення атаки стає доступною інформація про її успішність або відображення (із зазначенням конкретного вектора безпеки). Для кожного з векторів ведеться підрахунок

успішних та відбитих атак. Частка інвестицій для кожного вектора безпеки розраховується на основі частки успішних атак по даному вектору у кількості успішно проведених атак. Це означає, що захисник вкладатиме відповідну частку інвестицій у відповідний вектор безпеки, яка пропорційна кількості успішних атак, проведених проти цього вектора [5].

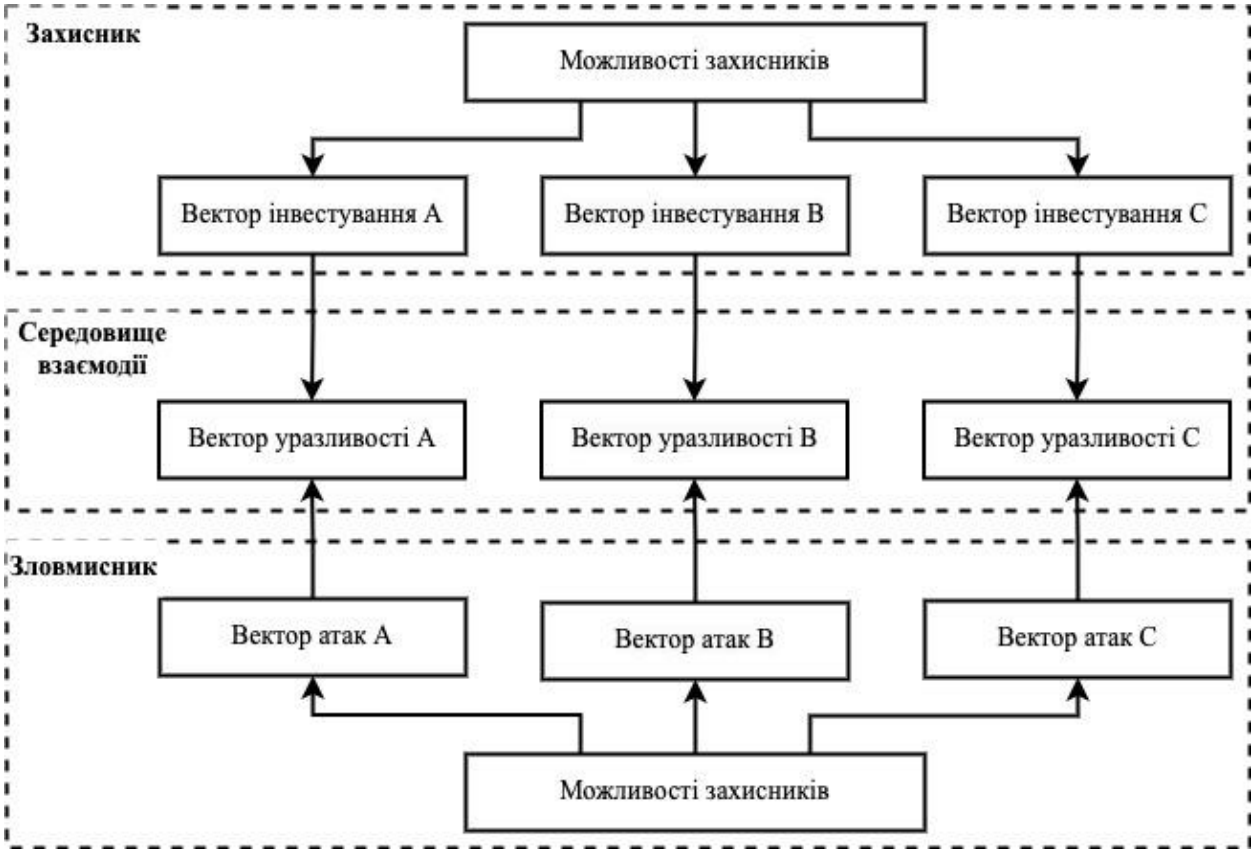


Рис. 2.8. Модель моніторингу параметрів динамічного середовища

Репутація оцінюється у відносних одиницях. Репутація коригується за результатами успішних або відбитих атак з усіх векторів безпеки. Що стосується відбитих атак репутація фірми зростає, тоді як успішно проведені атаки призводять до втрати репутації.

Фінансові показники захисників визначаються виходячи з експертних оцінок грошового вираження кожного бала репутації.

Зловмисник націлений на порушення безпеки контуру бізнес-процесів фірми та докладає певних зусиль до атак. Оскільки зловмисник не знає

точно, на які ресурси має бути спрямована його атака, то для отримання вигоди він засновує свої дії на відомому йому з попереднього досвіду розподілу успішних атак за цільовими ресурсами.

Зловмисник ідентифікує та використовує найслабшу ланку, тобто вектор безпеки з найнижчим захистом. Якщо зловмисник досягне успіху, він отримає прибуток, що відповідатиме нижчим фінансовим показникам для захисника. Зловмисник не діє без розбору, швидше він атакує лише тоді, коли це вигідно.

Історичні успішні атаки в моделі зловмисника спонукають його спрямовувати атаки на слабку ланку, не нехтуючи іншими цілями атаки, але виділяючи меншу частину ресурсів для їх атаки.

Сума накопичених успішних атак по кожному вектору дозволяє зловмиснику визначити найслабшу ланку і прийняти рішення для наступної атаки, щоб використати найуразливіший вектор безпеки.

Розподіл напряму атак визначається зловмисниками внаслідок накопичених успішних атак за кожним вектором. Для реалізації стратегії найслабшої ланки в цій моделі, зловмисники повинні перемикатися з одного напрямку атаки на інший, коли поточний напрямок недостатньо вигідний для нього для продовження атак.

Для ухвалення рішення про зміну вектора атак необхідно порівняти поточне значення накопичених успішних атак із аналогічним значенням за попередній період. Для цього використовується параметр «switch», який вказує на те, що, коли відношення поточного значення до значення попереднього періоду менше 1, зловмиснику не вигідно продовжувати використовувати цей вектор і необхідно переходити до атак за іншими напрямками.

Щоразу, коли зловмисник вирішує припинити атакувати один вектор перейти на інший, інвестиції, спрямовані на інші вектори, будуть збільшуватися.

Ефективність зловмисників – це сума порушень всіх векторів, помножена на вартість окремої атаки. Добробут зловмисників визначається фінансовими показниками, збільшення якого є функцією продуктивності зловмисників.

Для відображення взаємодії захисників та зловмисників, кожні з яких мають певні можливості та приймають відповідні інвестиційні рішення, реалізовано третю модель – модель середовища протистояння (поле битви). Основними змінними цієї моделі є вразливість та успішні атаки по кожному вектору безпеки.

Вразливість означає рівень безпеки кожного вектора атак. Позитивне значення вразливості вказує на наявні слабкі місця у забезпеченні безпеки за цим напрямом захисту. Цей показник може бути розрахований, виходячи із співвідношення засобів захисників та зловмисників, що вкладаються в цей напрямок захисту та атаки.

Використані в моделі константи, що задаються на початку моделювання і дозволяють моделювати різні сценарії взаємодії агентів та наступний розподіл інвестицій, представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Параметри моделі поведінки взаємодіючих сторін конфлікту

Позначення	Опис	Позначення	Опис
c_1	Кількість відбитих атак	c_9	Поширення інформації
c_2	Активована невизначеність	c_{10}	Співвідношення репутація/гроші
c_3	Можливості зловмисників	c_{11}	Час втрати репутації
c_4	Збитки внаслідок реалізації успішної атаки	c_{12}	Час відновлення репутації
c_5	Базові фінансові показники	c_{13}	Час інформування про атаку
c_6	Базова репутація	c_{14}	Значення вектору A
c_7	Можливості захисників	c_{15}	Значення вектору B
c_8	Час відбиття атаки	c_{16}	Значення вектору C

Позначення змінних параметрів, що використовуються в моделі, представлено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Змінні параметри моделі поведінки взаємодіючих сторін конфлікту

Позначення	Опис	Позначення	Опис
x_1	Репутація	x_{25}	Вразливість вектору B
x_2	Зазначена репутація	x_{26}	Вразливість вектору C
x_3	Регулювання	x_{27}	Успішні атаки вектору A
x_4	Відбиті атаки вектору A	x_{28}	Успішні атаки вектору B
x_5	Відбиті атаки вектору B	x_{29}	Успішні атаки вектору C
x_6	Відбиті атаки вектору C	x_{30}	Вектор порушень A
x_7	Фінансові показники захисників	x_{31}	Вектор порушень B
x_8	Частка атак за вектором A	x_{32}	Вектор порушень C
x_9	Частка атак за вектором B	x_{33}	Накопичені успішні атаки вектору A
x_{10}	Частка атак за вектором C	x_{34}	Накопичені успішні атаки вектору B
x_{11}	Звіт по вектору A	x_{35}	Накопичені успішні атаки вектору C
x_{12}	Звіт по вектору B	x_{36}	Останнє значення A
x_{13}	Звіт по вектору C	x_{37}	Останнє значення B
x_{14}	Зазначені успішні атаки вектору A	x_{38}	Останнє значення C
x_{15}	Зазначені успішні атаки вектору B	x_{39}	Перемикач A
x_{16}	Зазначені успішні атаки вектору C	x_{40}	Перемикач A
x_{17}	Частка інвестицій у вектор A	x_{41}	Перемикач A
x_{18}	Частка інвестицій у вектор B	x_{42}	Продуктивність зловмисників
x_{19}	Частка інвестицій у вектор C	x_{43}	Накопичений прибуток зловмисників
x_{20}	Високий рівень невизначеності	x_{44}	Накопичений прибуток захисників
x_{21}	Низький рівень невизначеності	x_{45}	Приріст
x_{22}	Середній рівень невизначеності	x_{46}	Руйнування
x_{23}	Невизначеність	x_{47}	Збільшення прибутку зловмисників
x_{24}	Вразливість вектору A	x_{48}	Збільшення фінансових показників

Вразливість визначається різницею між ресурсами, які зловмисник спрямовує на відповідний вектор, та ресурсами, які захисник виділяє для виправлення недоліків безпеки в тому самому векторі.

Успішні атаки мають важливе значення для цієї моделі, оскільки вони ініціюватимуть подальші інвестиційні рішення для обох супротивників. Так, якщо вразливість вектора нижче нуля, успішних атак не буде, тому що захисник має рівні або переважаючі можливості ніж зловмисник, і він здатний відбити всі атаки. З іншого боку, якщо вразливість вектора вище за нуль, слід очікувати успішних атак. Частка вкладених коштів на захист даного напрямку у поєднанні з вартістю відображення атаки в даному напрямку визначає кількість атак, які захисник може відобразити у разі порушення безпеки.

Формальне уявлення основних співвідношень між змінними, описаних раніше та визначальних істот взаємовідносин між учасниками кіберконфлікту, що призводять до зміни сценарію інвестування та перерозподілу коштів, наведено нижче у вигляді системи алгебраїчних та диференціальних рівнянь. Враховуючи наявність у реальній взаємодії сторін кіберконфлікту зворотного зв’язку (підсилювальних та демпфуючих контурів), слід було б для кожної змінної вказувати момент часу, проте такий запис суттєво занапастило систему рівнянь:

$$dx_1 / dt = x_{45} - x_{46},$$

$$x_2 = c_6 - \left(c_{14} * x_{24}\right) - \left(c_{15} * x_{25}\right) - \left(c_{16} * x_{26}\right),$$

$$x_3 = x_2 - x_1,$$

$$x_4 = c_1 / c_8,$$

$$x_5 = c_1 / c_8,$$

$$x_6 = c_1 / c_8,$$

$$x_7 = \left(c_{10} * x_1\right) + c_5,$$

$$x_8 = x_{39} * x_{33} / \left(x_{33} + x_{40} * x_{34} + x_{41} * x_{35}\right),$$

$$x_9 = x_{40} * x_{34} / \left(x_{39} * x_{33} + x_{34} + x_{41} * x_{35}\right),$$

$$x_{10} = x_{41} * x_{35} / \left(x_{39} * x_{33} + x_{40} * x_{34} + x_{35}\right),$$

$$x_{11} = x_{27} / c_{13},$$

$$x_{12} = x_{28} / c_{13},$$

$$x_{13} = x_{29} / c_{13},$$

$$dx_{14} / dt = x_{11} - x_4,$$

$$dx_{15} / dt = x_{12} - x_5,$$

$$dx_{16} / dt = x_{13} - x_6,$$

$$x_{17} = x_{14} / \left(x_{14} + x_{15} + x_{16}\right),$$

$$x_{18} = x_{15} / \left(x_{14} + x_{15} + x_{16}\right),$$

$$x_{19} = x_{16} / \left(x_{14} + x_{15} + x_{16}\right),$$

$$x_{20} = c_9 * rnd\left(min\left(\left(0.75 + 0.00498 * t\right), 0.999\right), max\left(1.5 - \left(0.00998\right) * t,\ 1.001\right)\right) +$$
$$+\left(1 - c_9\right) * rnd\, 0.75, 1.5),$$

$$x_{21} = c9 * rnd\left(min\left(\left(0.95 + 0.0008 * t\right), 0.999\right), max\left(\ 1.1 - \left(0.0018\right) * t,\ 1.001\right)\right) +$$
$$+\left(1 - c_9\right) * rnd\left(0.95, 1.1\right),$$

$$x_{22} = c_9 * rnd\left(min\left(\left(0.875 + 0.00248 * t\right), 0.999\right), max\left(1.25 - \left(0.00498\right) * t,\ 1.001\right)\right) +$$
$$+\left(1 - c_9\right) * rnd\left(0.875, 1.25\right),$$

$$x_{23} = if\left(c_2 = 0, 1, if\left(c_2 = 2, x_{22}, if\left(c_2 = 1, x_{21}, x_{20}\right)\right)\right),$$

$$x_{24} = \left(c_3 * x_8 * c_4 * x_{23}\right) - \left(c_7 * x_{17}\right),$$

$$x_{25} = \left(c_3 * x_9 * c_4 * x_{23}\right) - \left(c_7 * x_{18}\right),$$

$$x_{26} = \left(c_3 * x_{10} * c_4 * x_{23}\right) - \left(c_7 * x_{19}\right),$$

$$x_{27} = if\left(x_{24} > 0, \left(\left(c_3 * x_8\right) - \left(\left(c_7 * x_{17}\right) / c_4\right)\right), 0\right),$$

$$x_{28} = if\left(x_{25} > 0, \left(\left(c_3 * x_9\right) - \left(\left(c_7 * x_{18}\right) / c_4\right)\right), 0\right),$$

$$x_{29} = if\left(x_{26} > 0,\ \left(\left(c_3 * x_{10}\right) - \left(\left(c_7 * x_{19}\right) / c_4\right)\right), 0\right),$$

$$x_{30} = x_{27} / c_{13},$$

$$x_{31} = x_{28} / c_{13},$$

$$x_{32} = x_{29} / c_{13},$$

$$dx_{33} / dt = x_{30},$$

$$dx_{34} / dt = x_{31},$$

$$dx_{35} / dt = x_{32},$$

$$x_{36} = delay\left(x_{33},\ 1,0\right),$$

$$x_{37} = delay\left(x_{34},\ 1,0\right),$$

$$x_{38} = delay\left(x_{35},\ 1,0\right),$$

$$x_{39} = if\ \left(x_{33} - x_{36} < l,0,1\right),$$

$$x_{40} = if\ \left(x_{34} - x_{37} < 1,0,1\right),$$

$$x_{41} = if\ \left(x_{35} - x_{38} < l,0,1\right),$$

$$x_{42} = \left(\left(x_{30}\right) + \left(x_{31}\right) + \left(x_{32}\right)\right) * c_4,$$

$$dx_{43} / dt = x_{47},$$

$$dx_{44} / dt = x_{48},$$

$$x_{45} = if\ \left(x_3 > 0,\left(x_3 / c_{12}\right),0\right),$$

$$x_{46} = if\ \left(x_3 < 0,\left(abs\left(x_3 / c_{11}\right)\right),0\right).$$

Отримана система рівнянь описує поведінку зловмисника та захисника у процесі кіберконфлікту, взаємодія яких визначає напрямок вкладення інвестицій у систему забезпечення безпеки контуру бізнес-процесів, а також моменти зміни напряму.

Проведений аналіз дозволив сформувати перелік основних концепцій і понять, що використовуються під час опису інвестиційних процесів у системах безпеки, які повинні бути використані в моделі поведінки антагоністичних агентів, що розробляється. У таблиці 2.3 представлені основні поняття, що стосуються інвестиційних стратегій у системах кібербезпеки, що лежать в основі взаємодії захисника та зловмисника у динамічній моделі поведінки.

Таблиця 2.3

Основні поняття у моделях взаємодії сторін кіберконфлікту

Позначення	Опис
Репутація	Вигідне та загальновизнане ім’я або репутація за заслуги, досягнення, надійність тощо. У цьому випадку репутація належить до громадського авторитету компанії.
Вразливість	Рівень безпеки, який мають активи компанії. Його також можна назвати рівнем захисту активу. Вектори безпеки є зовні видимими та доступними системними ресурсами, які можна використовувати для організації атаки на систему.
Вектори безпеки	Прикладами векторів безпеки є мережеві сервери, веб-сторінки, електронна пошта, мобільні пристрої, конфігурація системи та інші.
Можливості захисників	Доступні ресурси розподіляються між активами підвищення рівня стійкості активів.
Можливості зловмисників	Частина ресурсів зловмисників доступна для розподілу серед активів захисника.
Частка інвестицій	Частина можливостей, спрямована на захист активів компанії.
Частка атак	Кількість атак, які зловмисники розподіляють між векторами безпеки захисників відповідно до попередніх успішних атак.
Успішні атаки	Атаки, які можуть порушити захист активів через вектори безпеки.
Прибуток захисників	Грошова вигода від підвищення рівня безпеки активів, що, у свою чергу, підвищує репутацію, тим самим підвищуючи фінансові показники.
Прибуток зловмисників	Грошова перевага від порушення активів захисників.
Інвестиційна стратегія “слабка ланка”	Стратегія слабкої ланки полягає в тому, що зловмисник раціонально докладає більше зусиль до систем із низьким рівнем безпеки. Після того, як периметр організації порушено, зловмисники часто можуть використати цю перевагу.
Інвестиційна стратегія “чекай і дивись”	Основна ідея полягає в тому, що у разі невизначеності щодо очікуваних вигід, можливо краще дочекатися ключових подій. Щойно відбувається порушення безпеки, з’являється більше інформації для оцінки очікуваних вигід від інвестицій у безпеку, що робить більш точною оцінку.

Сформовані поняття мають бути включені до математичної моделі, оскільки саме вони відображають характер взаємодії сторін конфлікту та впливають на розподіл обмежених інвестиційних коштів.

В основу побудови моделі було покладено припущення та обмеження, представлені на рисунку 2.9.

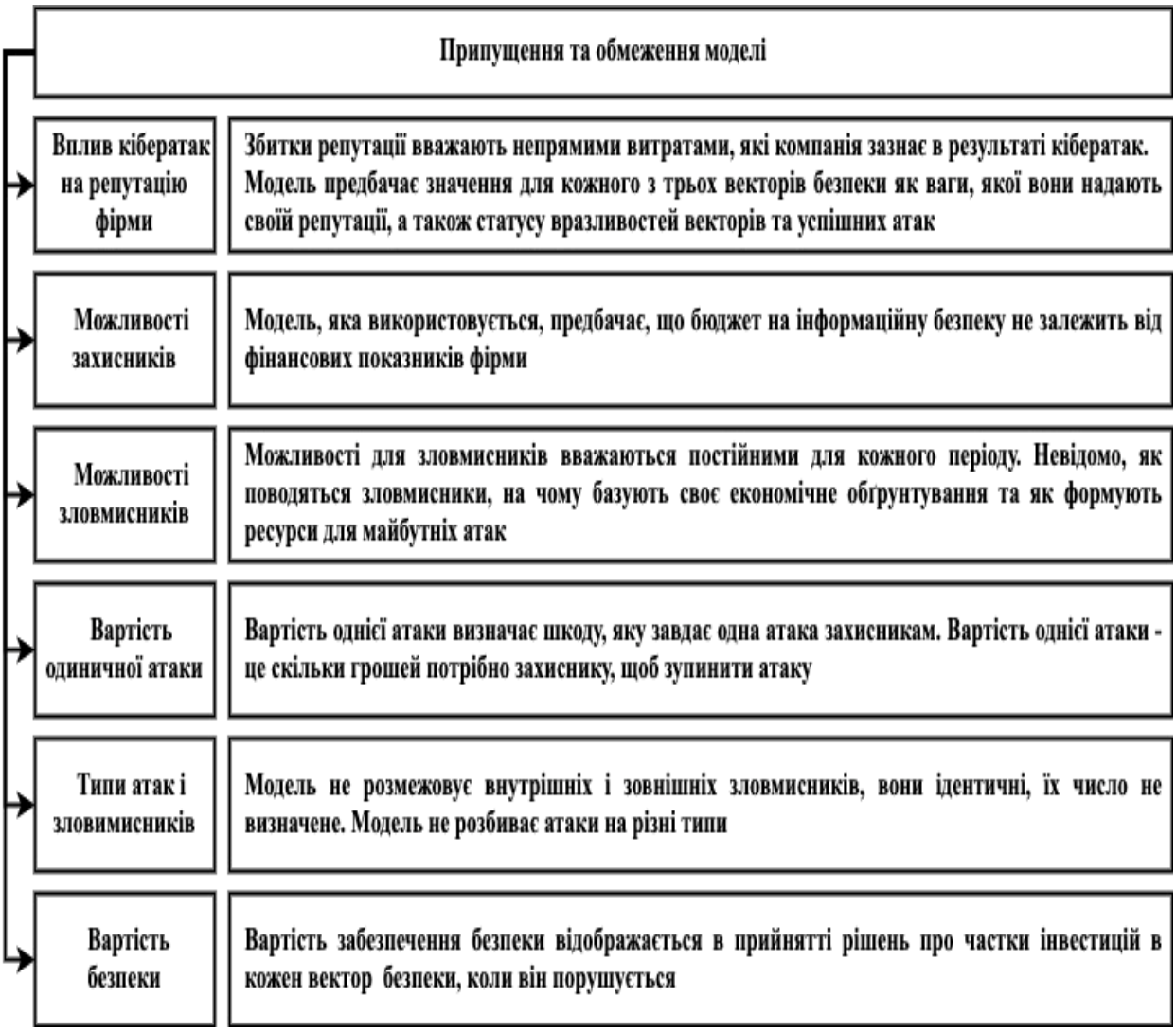


Рис. 2.9. Припущення та обмеження моделі поведінки

Модель передбачає наступні обмеження:

1. Модель обмежена лише трьома векторами загроз та засобами протидії їм. Таке обмеження з погляду практичної реалізації моделі є розумним, виходячи з різноманіття атак, що здійснюються на той чи інший об’єкт. Обмеження також не є критичним, оскільки пропонована модель

може бути легко адаптована не лише під конкретний вид кібератак, а й під їхню кількість.

2. Другим обмеженням моделі є уніфікована вартість кібератаки для всіх векторів, яка не залежить від засобів протидії. Це обмеження може бути легко усунуто в процесі адаптації моделі для конкретного об’єкта кібератак та їх типу.

3. У модель також не включені різні фінансові показники та підходи для аналізу кожного інвестиційного рішення, такі як: аналіз витрат та вигід, аналіз ризиків, чиста наведена вартість (NPV), річний прогноз збитків (ALE), повернення інвестицій у цінні папери (ROSI) та ін. Причина цього полягає в тому, що фінансовий аналіз зажадав би складнішої моделі, що включає емпіричні дані, для надання більшої точності результатам дослідження. Зазначені питання можна розглядати як напрями майбутніх досліджень.

Таким чином, розроблено математичну модель моніторингу динамічного середовища мобільних агентів в умовах зростання впливу завадо-факторів. Модель розроблено вперше. Розроблена модель базується на зростанні впливу завадо-факторів, що дозволяє створити систему моніторингу динамічного середовища мережецентричного управління мобільними агентами.

2.5. Висновки до розділу 2

1. Здійснено огляд сутності мережецентричного підходу управління. Основною відмінністю підходу від інших є використання блукаючого центру, за якого при втраті зав'язків з діючим центром призначається інший, який продовжує здійснювати процес управління. Це має суттєво підвищувати ефективність управління мобільними агентами.

Також здійснено огляд структури та процесу функціонування системи мережецентричного управління мобільними агентами. Наведено цикли управління, які забезпечують ефективність та координацію дій мобільних агентів. Показано, що система управління забезпечує ефективний розподіл завдань між агентами, враховуючи їхні можливості та вимоги оператора. Це дозволяє оптимізацію процесу виконання завдань і досягнення поставленої мети.

2. Вперше розроблено модель системи передачі даних для забезпечення мережецентричного управління мобільними агентами. Розроблена модель ґрунтується на оптимізації системи передачі даних з блукаючим центром управління, що дозволяє забезпечити задану ефективність мережецентричного управління.

Модель є відображенням процесів забезпечення інформаційного обміну між МА, ВМА, КМА та ЦУ з оптимізацією побудови структури мережі з кожним її оновленням. Критерієм оптимальності цієї побудови є мінімум затрат ресурсів під час забезпечення заданої ефективності управління. Модель передбачає автоматизацію створення системи ПД та можливість встановлення зв'язку з великою кількістю агентів.

3. Вперше розроблено математичну модель моніторингу динамічного середовища мобільних агентів в умовах зростання впливу завадо-факторів. Розроблена модель базується на зростанні впливу завадо-факторів, що

дозволяє створити систему моніторингу динамічного середовища мережецентричного управління мобільними агентами.

Отримана модель передбачає обмеження трьома векторами загроз та засобами протидії їм, яке з точки зору практичної реалізації є доцільним. Вона може бути легко адаптована не лише під конкретний вид кібератак, а й під їхню кількість. Також обмеженням моделі є уніфікована вартість кібератаки для всіх векторів, яка не залежить від засобів протидії. Це обмеження може бути легко усунуто в процесі адаптації моделі для конкретного об’єкта кібератак та їхнього типу.

РОЗДІЛ 3
РОЗРОБКА МЕТОДУ ТА МОДИФІКАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ МОБІЛЬНИМИ АГЕНТАМИ НА ОСНОВІ МЕРЕЖЕЦЕНТРИЧНОГО ПІДХОДУ З ВИКОРИСТАННЯМ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОЇ ГРИ

3.1. Засоби управління мобільними агентами в динамічному середовищі на основі мережецентричного підходу

У попередньому розділі відповідно до поставлених в роботі завдань було розглянуто мережецентричний підхід як спосіб щодо підвищення живучості системи управління в критичних умовах. Було показано, що це дійсно є можливим за рахунок використання блукаючого центру. Під час втрати зав’язків з діючим йому на заміну надходить новий, який продовжує управляти системою МА. Для цього було використане динамічне середовище зі швидко зростаючими завадо-факторами.

Також відповідно до наукового завдання та ряду часткових завдань у попередньому розділі було отримано модель системи передачі даних при мережецентричному управлінні мобільними агентами, яка забезпечує оптимізацію системи передачі даних з блукаючим центром управління та математичну модель моніторингу динамічного середовища мобільних агентів в умовах зростання впливу завадо-факторів, в якій має місце відображення зростання впливу завадо-факторів [12]. Це є важливими науковими складовими у розробці методу та удосконаленні інформаційної технології мережецентричного управління та забезпечення його ефективності.

Відповідно до отриманих та отримання подальших наукових результатів має місце необхідність опису відповідної системи управління та вимог до неї як базового задуму щодо обґрунтування подальшої інформаційної технології як кінцевого результату. Особливістю приведення МА у задані координати простору є багатоетапний характер їхнього руху, що

характеризується зміною під час польоту параметрів об’єкта (зміна маси та центрування), режиму польоту (відокремлення та відхід МА від носія, автоматична посадка апарату із забезпеченням малих динамічних помилок) та ін. При цьому повинні виконуватися різні цільові обмеження, які накладаються на параметри руху та управління.

3.1.1. Визначення вимог до системи управління мобільними агентами

Вимоги до системи управління МА залежать від багатьох факторів, таких як мета побудови системи, типи задач, що вирішуються, технічні характеристики ресурсів, якість обслуговування каналу зв’язку (QoS), тобто його стійкість, надійність, живучість, швидкість передачі. Визначення вимог до системи управління МА та параметрів оцінки її функціонування є важливим етапом її проєктування.

Система управління має реалізувати певний набір функціональних можливостей, які наразі вважаються типовими для Grid-систем. Серед них міграція та перепланування задач, контрольні точки, попереднє замовлення часових інтервалів для виконання задачі та інші функції.

Розроблювана система управління повинна враховувати такі параметри функціонування, як швидкість передачі та рівень захищеності оброблюваних даних, які, взагалі, можуть бути взаємно протилежними. В результаті, розроблений механізм планування дозволить створити ефективну систему управління МА, в якій забезпечується необхідний рівень захисту оброблюваних даних.

У майбутньому на основі отриманої загальної концепції системи управління можливе розширення її функціональних можливостей. Крім того, розроблений підхід може бути відповідним чином модифікований для застосування в інших подібних системах управління МА.

У цій роботі розглядається кілька видів систем управління, кожна з яких має свої особливості у побудові, управлінні та функціонуванні. Щоб уточнити поняття системи управління в цьому дослідженні, ми визначаємо її як сукупність МА, включаючи центральні та вузлові МА, які взаємодіють між собою. Вони передають сигнали, команди та інформацію одне одному й об’єднуються для виконання складних завдань.

3.1.2. Структурна схема системи управління мобільними агентами

Відповідно до функціональних характеристик на рисунку 3.1 представлена структурна схема системи управління МА.

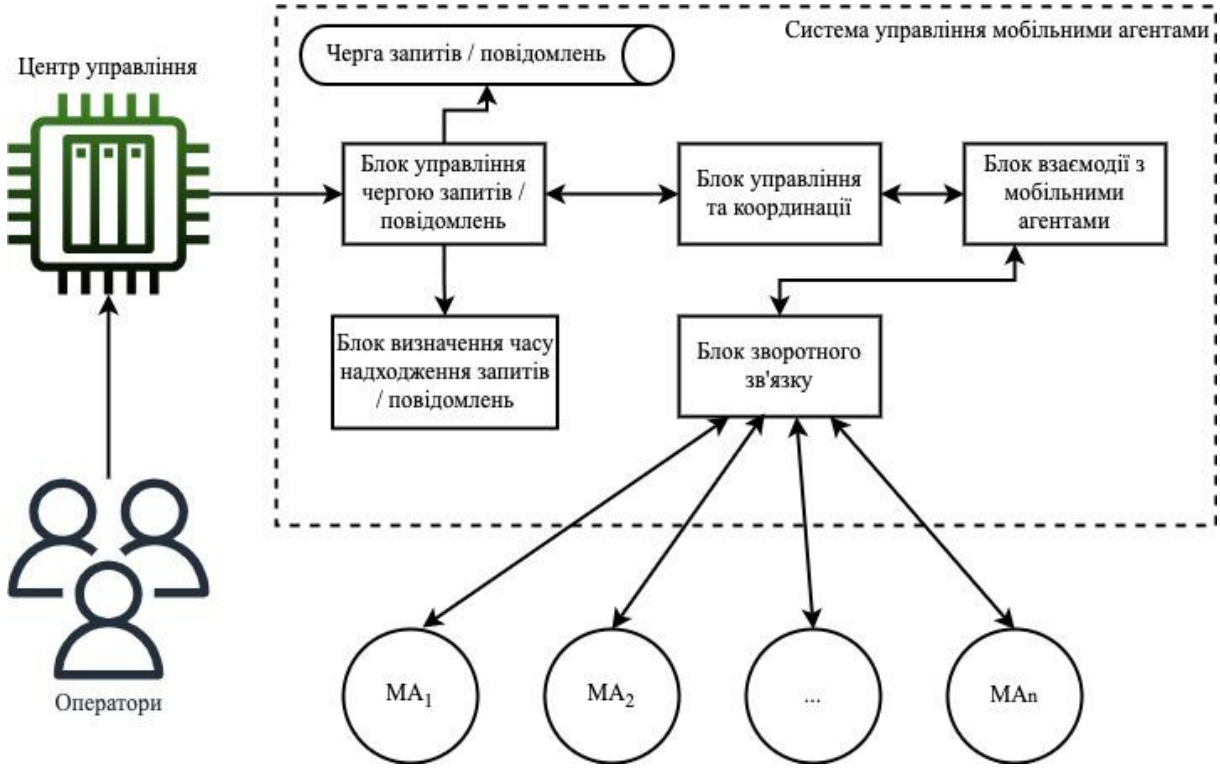


Рис. 3.1. Структурна схема системи управління мобільними агентами

Блок управління чергою запитів / повідомлень отримує вхідні запити / повідомлення та, відповідно до налаштувань системи управління МА, обчислює їхній пріоритет і розміщує у черзі. Також його функції включають перепланування запитів / повідомлень. У разі перепланування в чергу

додаються також запити / повідомлення, виконання яких було призупинено. Для таких запитів / повідомлень пріоритет підвищується. Також у блоці управління чергою запитів / повідомлень містяться параметри, які визначають формування черги та розрахунок пріоритету запитів / повідомлень.

Черга запитів / повідомлень призначена для розташування запитів / повідомлень за їх параметрами згідно пріоритету, який обчислюється *блоком управління чергою запитів / повідомлень*. Важливо відзначити, що черга містить не лише самі запити / повідомлення, а й усю інформацію щодо вимог операторів до системи управління МА для його виконання.

Блок зворотного зв'язку відповідає за взаємодію з МА та визначення параметрів функціональності системи управління МА. За отриманими параметрами визначається кількість МА, що необхідні для виконання завдання. Функціональність даного блоку полягає в наступному:

аналіз та оцінка завдань: важливою частиною блоку зворотного зв'язку може бути аналіз завдань, які потрібно виконати. Включення алгоритмів аналізу та приоритизації завдань дозволить системі ефективно розподіляти МА в залежності від їхньої важливості та складності;

автоматичне налаштування параметрів: розширення функціональності блока зворотного зв'язку полягає у впровадженні автоматичного налаштування параметрів системи. Система управління МА може аналізувати динаміку виконання завдань та змінювати параметри, такі як кількість агентів або їх розташування, для досягнення оптимальної продуктивності;

урахування ресурсів: система включає механізми для моніторингу ресурсів та визначення їхнього впливу на функціональність системи управління МА;

динамічне розподілення агентів: взаємодія з МА може бути динамічною, що дозволяє перерозподіляти агентів залежно від змінних умов.

Алгоритми динамічного розподілу можуть враховувати зміни в завданнях, ресурсах агентів та зовнішніх умовах;

взаємодія з оператором: дозволить забезпечити більший контроль та гнучкість в управлінні МА. Це може бути реалізовано через інтерфейс користувача або комунікаційні канали;

аналіз ефективності: для постійного поліпшення системи важливо здійснювати аналіз її ефективності. Включення засобів моніторингу та звітності дозволить вчасно виявляти проблеми та вдосконалювати роботу системи.

Така функціональність блоку зворотного зв’язку дозволить створити більш адаптивну, ефективну та гнучку систему управління МА, що здатна оптимально виконувати завдання в різних умовах.

Блок взаємодії з МА відповідає за визначення конкретних вузлових МА системи управління МА, які будуть використані для виконання завдання. Кількість вузлових МА визначає *блок зворотного зв’язку*. Вузлові МА підбираються маскуванням, параметри маски задаються наступним чином: захищеність вказується як рівень довіри до вузлового МА в діапазоні від 0 до 1, а для визначення продуктивності підбираються найбільш високошвидкісні МА. В цьому блоці відбувається взаємодія з конкретним МА, а потім з іншим, тобто працює в послідовному режимі.

Блок управління та координації вибирає завдання з початку черги та, співпрацюючи з *блоком взаємодії з МА*, отримує перелік вузлових МА, відібраних для виконання завдання, а потім розміщує завдання на виконання. Якщо під час перегляду черги з’являється завдання з вищим пріоритетом ніж у всіх виконуваних на даний момент завдань, блок управління та координації призупиняє виконання завдань, зберігаючи їх стан та дані, і проводить перепланування, розміщуючи нові завдання на доступні МА.

Блок визначення часу надходження запитів / повідомлень призначений для визначення обсягу часу надходження запитів / повідомлень у системі управління МА [9].

Таким чином, здійснено обґрунтування засобів управління мобільними агентами в динамічному середовищі на основі мережецентричного підходу. Визначено вимоги до системи управління мобільними агентами та її структура. Обґрунтована можливість реалізації методу та відповідної інформаційної технології мережецентричного управління мобільними агентами в динамічному середовищі.

3.2. Методи та засоби підтримки мережецентричного управління мобільними агентами з використанням диференціальної гри

Траєкторія багатоетапного руху складається з декількох часових ділянок (етапів), всередині яких змінні вектори стану є безперервними, а на межах ділянок може відбуватися їхня переривчаста зміна, не виходячи за межі прийнятих обмежень. При цьому кожен етап описується своєю математичною моделлю у формі системи звичайних нелінійних диференціальних рівнянь, а момент закінчення попереднього етапу є моментом початку наступного етапу [2].

Оптимізація багатоетапного управління рухом МА дозволяє реалізувати його максимально можливі льотні характеристики, що сприяє підвищенню надійності польоту внаслідок підвищення стійкості алгоритмів управління до зовнішніх збурень.

Синтезування алгоритмів автоматичного управління МА в умовах дії збурень є складною задачею. Високий порядок нелінійних диференціальних рівнянь, що описують просторовий рух МА, разом зі зміною масово-інерційних характеристик, ускладнюють вирішення цього завдання. Крім того, недоступна апріорна інформація про компоненти зовнішніх збурень. Одночасно, високі вимоги до досягнення кінцевих умов вимагають урахування впливу збурень на досягнення керованих цілей.

Одним з методів, який допомагає подолати невизначеність, пов’язану з непередбаченою дією зовнішніх збурень, є застосування концепції

гарантовано-адаптивного підходу до синтезу алгоритмів управління траєкторним рухом мобільних агентів. Ця концепція ґрунтується на принципі максимально гарантованого результату, оскільки процес управління розглядається в найбільш несприятливих умовах, які можуть виникнути під час дії збурень.

Для забезпечення ґарантованого управління в невизначених умовах збурень, необхідно перейти до задач оптимізації, які розглядаються в теорії диференціальних ігор. В таких умовах доцільно розглядати задачу термінального управління у формі математичної моделі диференціальної гри двох гравців, дослідження якої ґрунтується на принципі максимально гарантованого результату.

Запропоновано метод ґарантованого управління МА, який відрізняється тим, що він реалізується на основі рішення задач оптимізації у вигляді диференціальної гри двох гравців, що дозволяє реалізувати ґарантоване управління в умовах невизначених збурень.

Метод полягає у наступному:

1. Виконується визначення принципів управління МА для першого гравця.
2. Направлено формується вектор збурень для другого гравця.
3. Формуються цілі управління для першого та другого гравців, які є протилежними.
   3.1. Формується мета першого гравця шляхом мінімізації критерія якості управління в процесі переходу МА з початкового стану до заданого кінцевого стану.
   3.2. Формується мета другого гравця шляхом максимізації критерія якості управління.
4. Реалізується диференціальна гра для досягнення термінальних умов управління МА незалежно від допустимих реалізацій вектору збурень.

Розглянемо детальніше пункт 4 – реалізацію диферецiйної гри для досягнення термінальних умов незалежно від допустимих реалізацій вектора збурень.

Весь керований рух МА може бути умовно поділений на ***r*** заданих часових проміжків, в межах яких параметри апарату не зазнають різких змін або перемикань управління.

Усі зміни у формі заданих послідовностей відбуваються в межах вибраних часових проміжків

$$T_i = t_i - t_{i-1},\ i = \overline{1,r},\ \sum_{i=1}^{r} T_i = T,$$

де T – тривалість керованого руху МА.

Математична модель багаторежимного руху МА за невизначеної турбулентності складається з рівнянь та параметрів, які описують різні фактори руху МА. Багаторежимний рух вказує на те, що МА може взаємодіяти з декількома режимами або областями руху. Це може бути пов’язано з різними сценаріями, такими як стандартний політ, зміни швидкості або навіть уникнення перешкод. Щодо невизначеної турбулентності йдеться про те, що середовище або умови руху можуть бути непередбачуваними і змінюватися. Розглянемо такий підхід:

1. Динамічні рівняння руху: математична модель включає динамічні рівняння, що описують рух МА в кожному режимі. Ці рівняння можуть включати кілька параметрів, таких як швидкість, кутову швидкість, прискорення та інші.

2. Параметри турбулентності: для врахування турбулентності, модель може містити параметри, які визначають ступінь невизначеності середовища. Це може включати в себе випадкові або змінні величини, що являють собою турбулентні впливи.

3. Алгоритми управління: модель може включати алгоритми управління, які визначають, як МА повинен реагувати на зміни у середовищі.

Це може бути взаємодія з системою стабілізації, стратегіями уникнення турбулентності тощо.

4. Оптимізація параметрів: часто моделі піддаються оптимізації параметрів, щоб забезпечити оптимальну продуктивність та стабільність в умовах невизначеності.

5. Ігрові моделі: з огляду на ігрові моделі, може бути важливо враховувати стратегії взаємодії МА з навколишнім середовищем, де «гравці» можуть бути різні режими руху або турбулентні фактори.

Диференціальну ігрову модель багаторежимного руху МА на кожному сегменті руху за невизначеної турбулентності представимо у вигляді векторного диференціального рівняння:

$$\frac{dx_i}{dt} = f_i(t, x_i, u_i, v_i)\,,\; x_i(t_{i-1}) = x_i^0,\; i = \overline{1, r}\;, \tag{3.1}$$

де $x_i = x_i(t)$ – значення n вектора стану; $u_i = u_i(t)$ – значення m вектора управління; $v_i = v_i(t)$ – значення ℓ вектора турбулентності; f_i – неперервна і безперервно диференційована за множинністю змінна t, x_i, u_i, v_i векторна функція узагальненої сили; $t \in [t_{i-1}, t_i]$.

Диференціальна ігрова модель вказує на те, що ми розглядаємо систему, яка змінюється в залежності від різниці в рухах або змінах в середовищі та на гнучкість чи адаптивність системи відносно цих невизначеностей. Дана математична модель враховує гру між різними режимами руху МА в умовах невизначеної турбулентності. Це може бути важливо для розробки ефективних стратегій управління та автономних систем.

Спряжена межа та початкові умови сегментів процесу управління рухом задаються у вигляді даної межі вимог:

$$\phi_i\left[x_i(T_i), x_{i+1}^0; u_i(T_i), u_{i+1}^0; T_i\right] = 0,\ \ i = \overline{1,r}\,. \tag{3.2}$$

Задача першого гравця полягає у переведенні апарату із заданого початкового стану $x_1(t_0)$ в кінцевий (термінальний) стан $x_r(T)$, який визначається в момент часу $t = T$ за допомогою значення q $(q \le n)$ векторного рівняння:

$$S\left[x_r(T), T\right] = 0\,. \tag{3.3}$$

Ціль управління полягає у такому виборі управління, яке у процесі руху апарату забезпечує мінімізацію функціоналу:

$$I = G\left[x_r(T), T\right] + \sum_{i=1}^{r}\int_{t_0}^{T}\Phi_i(t, x_i, u_i, \nu_i)dt,\ i = 1, 2, 3, ...r \tag{3.4}$$

за умови його максимізації під час вибору вектора турбулентності $\nu_i(t)$ другим гравцем.

Припустимо, що функції G та Φ_i мають неперервні часткові похідні від x_i, u_i, ν_i.

Функції $u_i(t)$ та $\nu_i(t)$ називаються програмними стратегіями гравців. Обмеження стратегії гравців враховується під час вибору типу функціоналу (3.4).

Пара стратегій гравців u_i^0 та ν_i^0 називається оптимальною, якщо є співвідношення:

$$I(u_i^0, \nu_i) \le I(u_i^o, \nu_i^o) \le I(u_i, \nu_i^0)\,. \tag{3.5}$$

Необхідними критеріями оптимальності стратегій u_i^0 та ν_i^0 є [40]:

$$\frac{\partial I}{\partial u_i} = 0, \quad \frac{\partial I}{\partial \nu_i} = 0, \tag{3.6}$$

$$\frac{\partial^2 I}{\partial u_i^2} \geq 0, \quad \frac{\partial^2 I}{\partial \nu_i^2} \leq 0, \tag{3.7}$$

а достатніми критеріями є співвідношення (3.6) та критерій (3.7), для якого виконується строга нерівність.

Стратегії гравців u_i^0 та ν_i^0, які задовольняють достатні критерії, забезпечують існування сідлової точки (3.5) диференціальної гри (3.1) – (3.4).

Процес управління ми будемо розглядати в рамках таких математичних моделей диференціальних ігор, які задовольняють умови (3.6) та (3.7).

Зі співвідношення (3.5) випливає, що випадковий закон зміни вектора турбулентності, відмінного від оптимального ν_i^0, не погіршує якість управління об’єктом, що досягається при оптимальному управлінні u_i^0.

Таким чином, управління u_i^0 гарантує якість процесу управління не гірше за визначення (u_i^o, ν_i^0) в умовах обмежених випадкових турбулентностей.

Беручи до уваги, що управління u_i^0 забезпечує отримання гарантованої оцінки якості управління та пристосованості до конкретного типу дії турбулентності, ми будемо називати управління u_i^0 гарантовано-адаптивним управлінням [10].

Таким чином, обґрунтовано методи та засоби підтримки мережецентричного управління мобільними агентами з використанням диференціальної гри, яка реалізується на основі рішення задач оптимізації у вигляді двох гравців. Зазначені методи та засоби в сукупності з попередньо обґрунтованими засобами управління мобільними агентами в динамічному середовищі на основі мережецентричного підходу, визначеними вимогами до системи управління мобільними агентами та її структурою представляють собою новий метод управління. Цей метод мережецентричного управління

мобільними агентами з використанням диференціальної гри, розроблений вперше. Він відрізняється від існуючих тим, що реалізується на основі рішення задач оптимізації у вигляді двох гравців, що дозволяє реалізувати ефективне управління в умовах невизначених збурень.

3.3. Аналіз функціонування системи та засоби багатоетапного автоматичного управління мобільними агентами

Моделювання багаторежимного динамічного управління рухом об’єкта у формі диференціальної гри усуває невизначеність, викликану впливом турбулентностей.

Оцінка невизначених форм відбувається ціною втрати простоти математичної моделі та процесу моделювання, в результаті, крім оптимального управління u_i^0, необхідно визначити закон зміни вектора турбулентності ν_i^0, що описує максимальне протиставлення цілей термінального управління.

Для синтезу алгоритму управління багаторежимним рухом МА у невизначених умовах турбулентностей скористаємося математичним апаратом диференціальних перетворень [18].

Диференціальні перетворення дозволяють замінити функцію $x(t)$ безперервного аргументу t їхніми спектральними моделями у вигляді дискретних функцій $X(k)$ цілочисельного аргументу $k = 0, 1, 2, \ldots$.

Диференціальні перетворення – це функціональні перетворення типу:

$$\underline{x(t)} = X(k) = \frac{h^k}{k!}\left[\frac{d^k x(t)}{dt^k}\right]_{t=t_0}, \tag{3.8}$$

де $x(t)$ – вихідна, що представляє безперервну та обмежену усіма своїми похідними функцію дійсного аргументу t; $X(k)$ – дискретна функція

цілочисельного аргументу k, що називається диференціальними спектрами функції $x(t)$ в точці $t = t_0$; h – стаціонарне значення шкали, що має розмірність аргументу t. Лінія внизу – це знак перетворення.

Математичні моделі, що отримуються з вихідної математичної моделі шляхом застосування до них диференціальних перетворень (3.8), називаються спектральними моделями [34].

Далі будемо вважати, що функції часу, що описують процеси управління в задачі (3.1) – (3.4) у кожному сегменті руху, є аналітичними.

Синтез гарантовано-адаптивних алгоритмів управління будемо здійснювати у два етапи.

На першому етапі буде виконано синтез оптимальних ігрових алгоритмів програмного управління $u_i^0(t)$ та максимальної протидіючої турбулентності $\nu_i^0(t)$, що задовольняє умови (3.6) і (3.7), у середині кожного сегмента управління в класі аналітичних функцій $u_i(\tau, A_i)$ та $v_i(\tau, B_i)$, де $A_i = (a_{i1}, a_{i2}, ...a_{iN})$ та $B_i = (b_{i1}, b_{i2}, ...b_{iM})$ – вектори вільних параметрів, а τ є аргументом місцевого часу.

Диференціальні перетворення (3.8) функцій $u_i(\tau, A_i)$ та $v_i(\tau, B_i)$ визначаються при $h = T_i$ та припускають $\tau = 0$ своїх диференціальних спектрів як:

$$\underline{u_i}(\tau, A_i) = U_i(k, A_i) = \frac{T_i^k}{k!}\left[\frac{d^k u_i(t_{i-1} + \tau, A_i)}{dt^k}\right]_{\tau=0}. \tag{3.9}$$

$$\underline{v_i}(\tau, A_i) = V_i(k, B_i) = \frac{T_i^k}{k!}\left[\frac{d^k \nu_i(t_{i-1} + \tau, B_i)}{dt^k}\right]_{\tau=0}. \tag{3.10}$$

Диференціальне рівняння (3.1) на основі перетворень (3.8) записується у вигляді наступної спектральної моделі:

$$X_i(k+1, A_i, B_i, X_i^0) = \frac{T_i}{k+1}\underline{f_i}\left[T_i, X_i(k, A_i, B_i, X_i^0), U_i(k, A_i), V_i(k, B_i)\right], \tag{3.11}$$

$$X_i(0) = X_i^0(A_{i-1}, A_{i-2}, ..., A_1, B_{i-1}, B_{i-2}, ..., B_1);$$
$$X_1(0) = X_1^0 = x_0; i = \overline{1,r}$$

Рекурсійний вираз (3.11) дозволяє знайти диференціальні спектри $X_i(k, A_i, B_i, X_i^0)$ вектора стану $x_i(t)$ в диференціальних спектрах (3.9) та (3.10).

Скористаємося властивістю диференціальних перетворень, згідно з якою алгебраїчна сума всіх дискретів диференціальних спектрів будь-якої аналітичної функції в точці $t = t_\nu$, дорівнює нульовому дискрету диференціального спектру функції в точці $t_{\nu+1} = t_\nu + h$ або значенню вихідної функції в тій же точці:

$$\sum_{k=0}^{\infty} X_\nu(k) = X_{\nu+1}(0) = x(t_\nu + h). \qquad (3.12)$$

З отриманого рівняння (3.12) при $t_\nu = t_{i-1}$ та $h = T_i$ визначаємо вектор стану в кінці кожного сегмента управління:

$$x_i(T_i, A_i, B_i, x_i^0) = \sum_{k=0}^{\infty} X_i(k, A_i, B_i, X_i^0),\ i = \overline{1,r}. \qquad (3.13)$$

Потім рівняння кінцевого стану (3.3) з урахуванням виразу для поєднання граничного та початкового сегментів (3.2), а також вирази для вектора стану в кінці кожного сегмента (3.13) перетворюються наступним чином [3]:

$$S\left[A_1, A_2, ..., A_r, B_1, B_2, ..., B_r\right] = 0. \qquad (3.14)$$

Дана кінцева умова в імпліцитній формі визначає *q*-компоненти векторів вільних параметрів A_i та B_i, $i = \overline{1,r}$ як функції T_i та x_i^0.

Решта *M*+*N*-*q* компонентів векторів вільних параметрів визначаються із стаціонарних умов (3.6) функціонала (3.4).

Диференціальні перетворення (3.8) функціоналу (3.4) дозволяють представити функціонал (3.4) як функцію векторів невизначених параметрів A_i та B_i:

$$I(A_1, A_2, ...A_r, B_1, B_2, ..., B_r) = G\left[A_1, A_2, ...A_r, B_1, B_2, ..., B_r\right] +$$
$$+\sum_{i=1}^{r} T_i \cdot \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\Phi_i\left[T_i, X_i(k, A_i, B_i, X_i^0, U_i(k, A_i), V_i(k, B_i)\right]}{k+1} \qquad (3.15)$$

Стаціонарні умови (3.6) функції (3.15) дозволяють отримати комбіновані рівняння для визначення решти $M+N-q$ невідомих компонентів векторів вільних параметрів $A_1, A_2, ..., A_r$ та $B_1, B_2, ..., B_r$:

$$\frac{\partial I(A_1, A_2, ...A_r, B_1, B_2, ..., B_r)}{\partial a_{ij}} = 0, \; q+1 \le i \le N, \qquad (3.16)$$

$$\frac{\partial I(A_1, A_2, ...A_r, B_1, B_2, ..., B_r)}{\partial b_{ij}} = 0, 1 \le j \le M. \qquad (3.17)$$

Розв’язання систем нелінійних алгебраїчних рівнянь (3.14), (3.16) і (3.17) у разі їхньої узгодженості дозволяє знайти компоненти векторів вільних параметрів $A = (A_1, A_2, ..., A_r)$ та $B = (B_1, B_2, ..., B_r)$ програмних стратегій обох гравців як функції від вектора довільного початкового стану $x_0 = x_1(t_0)$.

Тоді можна перевірити достатні умови (3.6), (3.7) оптимальності стратегій гравців при строгій нерівності у виразі (3.7).

Коли система рівнянь (3.14), (3.16) і (3.17) є суперечливою, диференціальна гра (3.1) – (3.7) не має розв’язку у обраних типах функцій $u(t, A)$ та $v(t, B)$, тоді тип функцій з вільними параметрами слід змінити або розширити розмірність векторів вільних параметрів.

В результаті виконання першого етапу синтезу алгоритмів управління в імпліцитній формі встановлюється нелінійний зв’язок програмних стратегій обох гравців $u(t, A)$ та $v(t, B)$ з вектором початкового стану $x_0 = x_1(t_0)$.

Ці стратегії можуть бути використані лише в початковий момент і не враховують зміни стану під час руху.

Для врахування поточного стану процесу управління необхідно синтезувати алгоритми управління та максимально протидіяти турбулентності у вигляді позиційних стратегій гравців.

$u = u(x,t), v = v(x,t)$.

На другому етапі синтезу зробимо наступне припущення.

Ми будемо розглядати лише ті моделі процесу управління, які містять стратегії гравців і дозволяють пов'язати довільну початкову умову в межах заданої області простору станів із заданими кінцевими умовами (3.3). Синтез стратегій за межами даної області простору станів не розглядається

Розв'язання комбінованих рівнянь (3.14), (3.16) і (3.17) для поточного моменту t для кожного поточного стану гри $x(t)$ задає пару стратегій гравців $u^0[t, A(T,x)]$ та $v^0[t, B(T,x)]$, пов'язуючи поточний стан гри з кінцевими вимогами (3.3).

Якщо організувати безперервний у часі процес розрахунку параметрів A і B стратегій гравців, то можна сформулювати стратегії гравців на кожному відрізку руху у вигляді $u[t, A(T,x)]$ та $v[t, B(T,x)]$.

Перший гравець, який реалізує потенційну стратегію $u[t, A(T,x)]$, яка безперервно визначається з комбінованих рівнянь (3.14), (3.16) і (3.17), забезпечує управління аеростатичним апаратом з досягненням заданих кінцевих умов (3.3) при максимальній протидії турбулентності, дія якої моделюється стратегією другого гравця $v[t, B(T,x)]$.

За необхідності знайти оптимальну траєкторію, її компоненти можна визначити у вигляді ряду Тейлора або за допомогою оберненого диференціального перетворення у вигляді поліномів Чебишева, ряду Фур'є.

При такому підході, параметри апроксимуючих функцій, які є вільними, визначаються шляхом порівняння диференціальних спектрів компонентів вектора стану з диференціальними спектрами апроксимуючих функцій.

Таким чином, на основі отриманого методу мережецентричного управління мобільними агентами з використанням диференціальної гри здійснено аналіз функціонування системи та визначено засоби багатоетапного автоматичного управління мобільними агентами. Це надає можливість остаточної побудови та уточнення структурної схеми мобільного агента та, відповідно, модернізації технології щодо управління МА.

3.4. Структурна схема мобільного агента в системі управління

Відповідно до функціональних характеристик МА розроблена структурна схема МА в системі управління (рис. 3.2).

Рис. 3.2. Структурна схема мобільного агента в системі управління

Блок управління є основним елементом МА, що реалізує його основні функції, а саме: збір інформації від утиліт, запис їх до внутрішньої пам’яті, а також взаємодію з системою управління МА. Збір інформації здійснюється періодично з внесенням її до внутрішньої пам’яті, дані записуються з маркером часу. Виняток становить продуктивність, яка визначається одноразово одразу після запуску МА і записується у внутрішню пам’ять. На

запит від системи управління МА визначає останні записані у внутрішній пам’яті параметри і передає їх у вигляді вектора системі.

Внутрішня пам’ять призначене для зберігання параметрів МА протягом певного періоду часу, причому для кожного параметра період може суттєво відрізнятися. Це може включати в себе збереження даних про різні фактори МА, такі як його стан, налаштування, інформація про завдання або контекст, у якому він працює. Це може бути корисно для зберігання історії дій МА, щоб він міг навчатися на основі свого минулого досвіду. Наприклад, якщо МА виконує різні завдання в різних середовищах, його внутрішня пам’ять може допомогти йому зберегти важливі дані про те, які стратегії були успішними в кожному з середовищ.

Ця концепція може бути використана в різних областях, таких як машинне навчання, робототехніка, автономні системи та інші, де агент повинен пристосовуватися до змінних умов та використовувати свій досвід для вирішення завдань.

Блок управління станом вузлових МА є ключовою частиною системи, яка використовує МА для вирішення певних завдань, включає в себе низку компонентів та функціональностей:

ініціалізація вузлових МА: визначаються параметри та властивості МА, їхні характеристики, початковий стан, цілі та завдання;

маршрутизація та переміщення: визначається оптимальний маршрут для переміщення вузлових МА з урахуванням каналів зв’язку;

стан агента: зберігається і керується стан кожного вузлового МА. Це може включати інформацію про поточну дію самого агента, стан виконання завдання, отримані дані тощо;

синхронізація та комунікація: важливою частиною управління станом є можливість вузлових МА спілкуватися між собою та з іншими МА. Для цього використовуються протоколи комунікації, які дозволяють обмінюватися даними та сповіщеннями;

переривання та відновлення: в деяких випадках може виникнути потреба в перериванні роботи вузлового МА або відновленні його стану після збоїв. Блок управління станом повинен мати механізми для цього, щоб забезпечити надійність та стійкість системи;

моніторинг та аналіз: блок також може включати функціональність для моніторингу та аналізу роботи вузлових МА. Це допомагає виявляти проблеми, оптимізувати роботу та приймати рішення щодо оптимального використання вузлових МА.

Загалом, блок управління станом вузлових МА грає критичну роль у забезпеченні ефективної роботи системи управління МА.

Утиліта для визначення координат МА – це програмний інструмент, який дозволяє визначати географічні координати рухомих МА. Ці утиліти використовують різноманітні технології і сенсори для визначення місцезнаходження, такі як GPS (глобальна система позиціонування), Wi-Fi, Bluetooth, мережі мобільного зв’язку та інші. Основні функції таких утиліт можуть включати:

визначення координат: утиліта забезпечує можливість точного визначення географічних координат МА на площині землі;

мапування та трекінг: здатність відстежувати рухи МА протягом часу та відображати їх на карті, що дозволяє стежити за маршрутами, пройденими в минулому;

геозони та сповіщення: встановлення геозон (територій) з можливістю отримання сповіщень, коли МА входить або виходить з певної області;

географічний аналіз: обробка та аналіз зібраних даних для отримання статистики, виявлення трендів та взаємозв’язків;

віддалене управління: управління МА, включаючи зміну їхніх налаштувань, режимів роботи тощо з центру управління;

інтеграція з іншими системами: можливість інтеграції з іншими програмними системами для обробки та використання даних МА;

безпека та конфіденційність: забезпечення захисту зібраних даних та обмеження доступу до них з метою збереження конфіденційності.

Для розробки таких утиліт можуть використовуватися різні програмні та апаратні компоненти, залежно від специфікацій та потреб. Також важливим є забезпечення точності вимірювань та мінімізація помилок, що можуть виникнути під час визначення координат.

Утиліта визначення швидкості передачі даних в каналі зв'язку з МА. Для вимірювання швидкості передачі даних в каналі зв'язку з МА можна використовувати різні утиліти та методи. Одним з популярних способів є використання тестерів швидкості Інтернету, які доступні як додатки для смартфонів та програми для комп'ютерів. Але важливо мати на увазі, що результати можуть змінюватися в залежності від різних факторів, таких як місцезнаходження, час доби, завантаженість мережі тощо. Щоб отримати більш точний результат, рекомендується виконати кілька тестів в різний час.

Утиліта моніторингу станів МА допомагає відстежувати активність, продуктивність і різноманітні параметри МА [8].

Таким чином, здійснено побудову структурної схеми мобільного агента, як елементу системи мережецентричного управління з використанням диференціальної гри. Вона представляє собою сукупність взаємопов'язаних елементів як це показано на рис. 3.2. Серед елементів мають місце утиліта моніторингу станів та блок управління станом вузлових мобільних агентів, що забезпечує мережецентричну організацію управління. Все це дозволяє модернізацію відповідної інформаційної технології управління мобільними агентами в динамічному середовищі.

3.5. Створення інформаційної технології управління мобільними агентами в динамічному середовищі з урахуванням мережецентричної організації їх взаємодії та використання диференціальної гри

Для застосування розроблених підходів, які були описані в роботі, моделі системи передачі даних, яка запропонована у розділі 2 та двох методів, запропонованих у розділі 3, було розроблено інформаційну технологію управління МА на основі мережецентричного підходу для підвищення ефективності її використання в багатьох сферах.

Інформаційна технологія забезпечує проведення управління МА та порівняння його з різними підходами (рис. 3.3). Вхідними даними є: набір МА, параметри МА, набір запитів та набір зовнішніх параметрів. Після проходження ініціалізації МА та розгортання середовища управління відбувається процес тестування та управління МА за допомогою методів, які описані в розділі 3. На виході отримуємо наступні показники: час тестування з'єднання для кожного МА, час проходження всіх запитів, помилки, які виникли під час проходження запитів, список запитів, які відпрацювали з помилками, що може означати непрацюючі компоненти МА, або відсутність зв'язку з МА.

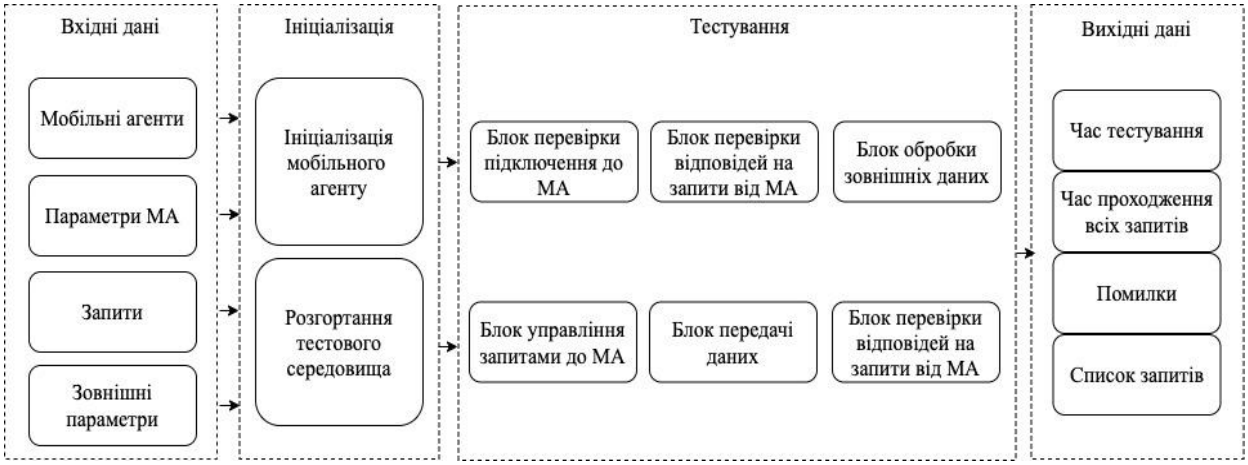


Рис. 3.3. Схема інформаційної технології тестування систем управління мобільними агентами

В системі управління МА, яка була визначена на рисунку 3.3 було використано наступні блоки [49]:

блок перевірки підключення до МА, який забезпечує перевірку зв’язку з МА та визначає роботу всіх інших блоків;

блок управління запитами до МА, який забезпечує підготовку, формування та передачу запитів;

блок перевірки відповідей на запити від МА, який контролює кількість надсилань одного запиту та обробку відповіді від на ці запити;

блок передачі даних, який забезпечує передачу даних від центру управління до МА;

блок обробки зовнішніх даних, який забезпечує визначення зовнішніх параметрів впливу та кореляцію запитів відносно цього;

блок обробки помилок, який допомагає визначити помилки в управлінні та скоригувати систему для більш оптимізованого формування запитів.

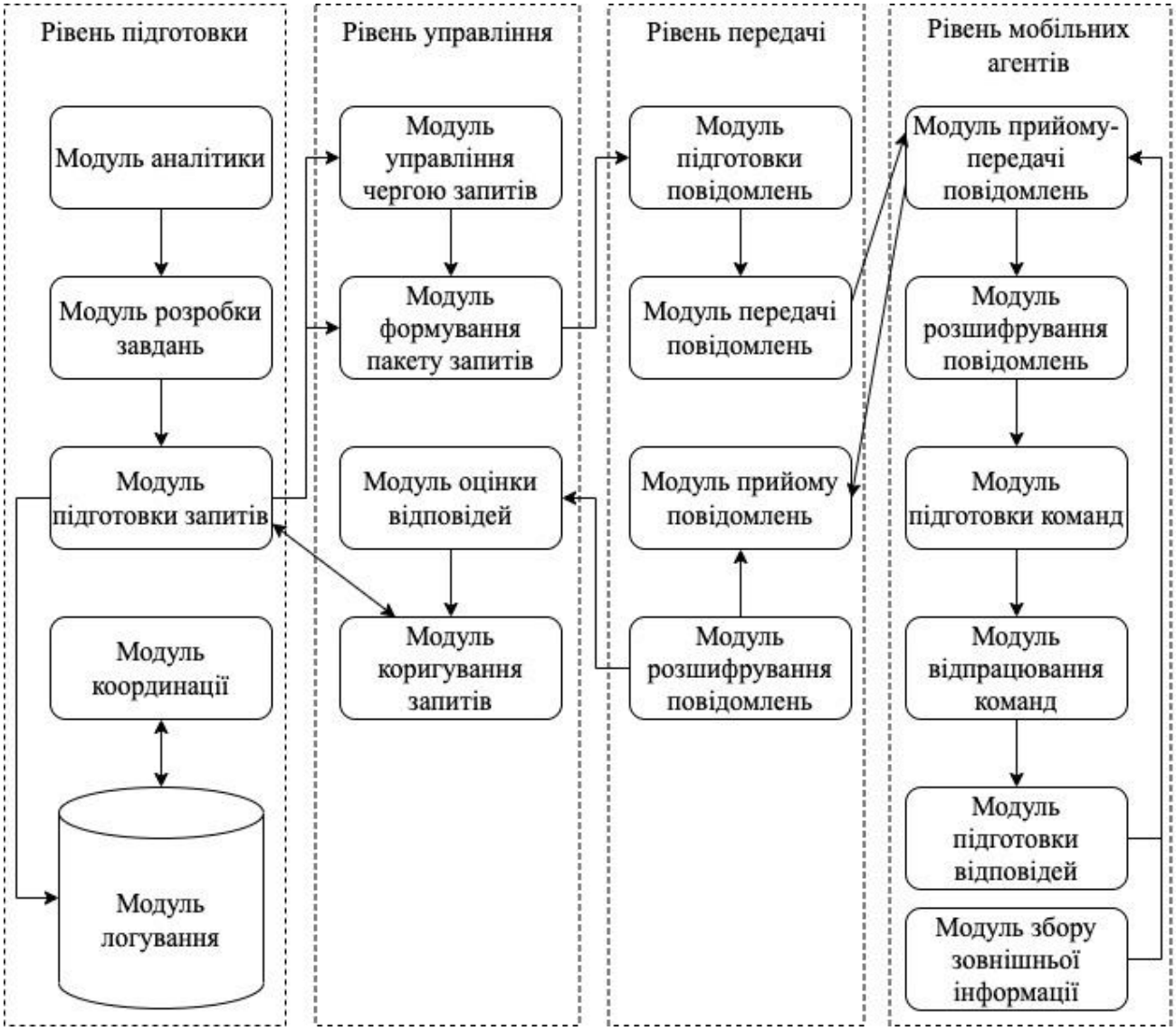


Рис. 3.4. Функціональна схема інформаційної системи підвищення ефективності управління мобільними агентами

На основі інформаційної технології було розроблено нову інформаційну систему, яка складається з чотирьох рівнів виконання: рівень прийняття рішень, рівень управління, рівень передачі даних та рівень МА (рис. 3.4). Рівень прийняття рішень відповідає за загальну підготовку й оцінку відповідних завдань для управління МА і містить в собі наступні модулі:

модуль аналітики, який відповідає за проведення аналітичного аналізу ситуації та визначення тих МА, які будуть застосовані в тій чи іншій ситуації;

модуль розробки завдань, опираючись на основі даних, які були підготовлені модулем аналітики формують масив завдань управління МА для передачі його в модуль підготовки запитів;

модуль підготовки запитів, аналізує масив завдань та відносно них будує масив запитів, який передається до модулю управління чергою запитів в рівні управління;

модуль координації, який отримує дані з модулю коригування запитів рівня управління та дає відповідні вказівки модулю формування пакетів запитів рівня управління для вставки в чергу нового пакету зі скоригованими запитами;

модуль логування служить для збереження всіх запитів, які були згенеровані модулем підготовки запитів та пакетів модулем координації.

На рівні управління, який відповідає за обробку запитів та відповідей від МА є наступні модулі:

модуль управління чергою запитів, який отримує дані від модуля підготовки запитів рівня підготовки та проводить вибірку запитів, які стосуються окремого МА з подальшою передачею їх до модуля формування пакету запитів;

модуль формування пакету запитів, після отримання запитів готує пакет управління для конкретного пристрою та передає його до модуля підготовки повідомлень рівня передачі;

модуль оцінки відповідей, який отримує розшифровану відповідь від модулю розшифрування повідомлень рівня передачі та проводить попередню оцінку про проходження запитів та про особливості зовнішніх факторів впливу, які передав модуль збору зовнішньої інформації рівня МА;

модуль коригування запитів основуючись на даних, які передаються з модулю оцінки відповідей проводить остаточну оцінку та визначає запити, які повинні бути відредаговані або заново запущені для виконання і передає дану інформацію до модуля координації рівня підготовки. За необхідності

рівень підготовки направляє на доопрацювання відповідні запити після їхньої оцінки.

Рівень передачі даних містить у собі чотири модуля, а саме:

модуль підготовки повідомлень, який отримавши пакет запиту від модулю формування пакетів запитів рівня управління, проходить його шифрування та передає його до модуля передачі повідомлень;

модуль передачі повідомлень отримує зашифроване повідомлення від модулю підготовки повідомлень та передає його до модуля прийому-передачі повідомлень рівня МА;

модуль прийому повідомлень приймає від модулю прийому-передачі повідомлень рівня МА відповідь МА та передає його для розшифрування в модуль розшифрування запитів;

модуль розшифрування повідомлень проходить розшифрування повідомлень, які йому надійшли з модуля прийому повідомлень та передає відповідь в модуль оцінки відповідей рівня управління.

Рівень МА відповідає за процеси, які відбуваються в МА та поділяється на наступні модулі:

модуль прийому-передачі повідомлень, який приймає повідомлення від модуля передачі повідомлень рівня передачі та відправляє повідомлення модулю прийому повідомлень рівня передачі. Під час формування відповіді враховуються дані, які були отримані з модуля підготовки відповідей та модуля збору зовнішньої інформації;

модуль розшифрування повідомлень отримує дані з модуля прийому-передачі повідомлень та проводить розшифрування повідомлень з подальшою передачею до модуля підготовки команд;

модуль підготовки команд проводить перетворення запитів на команди для МА та передає їх до модуля відпрацювання команд;

модуль відпрацювання команд, застосовує команди, які він отримав з модуля підготовки команд та після їхнього виконання передає дані до модуля підготовки відповідей;

модуль підготовки відповідей, отримавши набір результатів виконання команд, проводить формування пакетів відповідей та передає їх до модуля прийому-передачі повідомлень для подальшої відправки;

модуль збору зовнішньої інформації потрібен для обробки інформації з датчиків МА та підготовку пакету відповіді для передавання його до модуля прийому-передачі повідомлень для подальшої відправки.

Зазначена інформаційна система дозволяє підвищити ефективність управління МА з можливістю застосування мережецентричного управління. Отримані результати зберігаються у базі знань, яка ведеться в модулі логування. На основі знайдених помилок та оцінки зовнішніх факторів проводиться координація роботи МА для вирішення тієї чи іншої задачі [47].

Таким чином, створено інформаційну технологію управління мобільними агентами в динамічному середовищі з урахуванням мережецентричної організації їхньої взаємодії. Отримана інформаційна технологія відрізняється від існуючих тим, що вона побудована на основі мережецентричної організації взаємодії агентів з використанням диференціальної гри для управління ними в критичних умовах, що дозволяє створити ефективну систему мережецентричного управління мобільними агентами.

3.6. Висновки до розділу 3

1. Здійснено обґрунтування засобів управління мобільними агентами в динамічному середовищі на основі мережецентричного підходу. Визначено вимоги до системи управління мобільними агентами та її структура. Обґрунтована можливість реалізації методу та відповідної інформаційної технології мережецентричного управління мобільними агентами в динамічному середовищі.

Обґрунтовано методи та засоби підтримки мережецентричного управління мобільними агентами, які на основі рішення задач оптимізації у вигляді двох гравців використовують диференціальні ігри.

2. Вперше розроблено метод мережецентричного управління мобільними агентами з використанням диференціальної гри. Розроблений метод ґрунтується на основі рішення задач оптимізації у вигляді двох гравців, що дозволяє реалізувати ефективне управління в умовах невизначених збурень.

Здійснено аналіз функціонування системи та визначено засоби багатоетапного автоматичного управління мобільними агентами та побудову структурної схеми мобільного агента.

3. Удосконалено інформаційну технологію управління мобільними агентами в динамічному середовищі з урахуванням мережецентричної організації їхньої взаємодії. Отримана інформаційна технологія відрізняється від існуючих тим, що вона побудована на основі мережецентричної організації взаємодії агентів з використанням диференціальної гри для управління ними в критичних умовах, що дозволяє створити ефективну систему мережецентричного управління мобільними агентами.

РОЗДІЛ 4
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕРЕЖЕЦЕНТРИЧНОГО УПРАВЛІННЯ МОБІЛЬНИМИ АГЕНТАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОЇ ГРИ

4.1. Імітаційне моделювання поведінки взаємодіючих мобільних агентів

У попередньому розділі було описано систему та отримано інформаційну технологію щодо мережецентричного управління мобільними агентами в динамічному середовищі, які дозволяють впровадження їх на практиці з підвищенням живучості цих систем управління. Для проведення експериментальних досліджень параметрів та оцінювання ефективності є необхідність у відповідному імітаційному моделюванні поведінки взаємодіючих мобільних агентів. Це надасть можливість проведенню зазначених досліджень у реальному часі без зайвих витрат коштів.

Описана модель взаємодії атакуючої та захищаючої сторони була використана для моделювання їх поведінки в різних умовах з точки зору вибору стратегій інвестування в систему кібербезпеки.

Відповідно до розробленої методології моделювання поведінки взаємодіючих агентів у критичних умовах [5], розроблена математична модель була реалізована в середовищі системно-динамічного моделювання PowerSim (Powersim Software AS, Норвегія). Слід зазначити, що серед моделювання може бути використано будь-який програмний засіб, що підтримує моделювання динамічних систем. Як альтернатива можуть бути запропоновані MATLAB+Simulink, AnyLogic та ін.

Як варіант було обрано моделювання механізму «найслабша ланка». Цей механізм ініціює інвестиційні стратегії як зловмисників, так і захисників. Саме процес взаємодії атакуючої та захищаючої сторін дозволяє визначити,

де знаходиться найслабша ланка в їхніх векторах, щоб ухвалити рішення про напрямок та обсяг інвестування. Механізм найслабшої ланки запускається з початковими умовами, відображеними у накопичених успішних атаках у підмоделі зловмисників.

Як початкові умови було обрано нульові умови для фінансових показників (витрати на проведення атак та їх захист). Для початку роботи моделі та вибору початкового вектора атак повинен бути заданий деякий початковий розкид у значеннях накопичених успішних атак за проаналізованими векторами. В іншому випадку вектор атак повинен вибиратися випадковим чином (у версії програми цього не передбачено).

Початкові умови успішних атак, що накопичуються зловмисниками, визначатимуть наступні дії для обох супротивників. Щоразу, коли у захисті порушується один вектор безпеки, який значно перевищує інші вектори, зловмисники використовують саме його. Для базового запуску початкові умови накопичених успішних атак представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Початкові умови моделювання сценарію «Найслабша ланка»

Накопичені успішні атаки. Вектор *A*	100
Накопичені успішні атаки. Вектор *B*	75
Накопичені успішні атаки. Вектор *C*	50

У цьому випадку вектор *A* є найслабшою ланкою, ідентифікованою атакуючим у першому періоді. Початкові значення були обрані таким чином, щоб наочно відобразити перевагу, яку атакуючий віддає одному з векторів порівняно з іншими. Однак існує другий кращий вектор (вектор *B*), що показує частку можливостей атакуючих, виділених кожної успішної атаки вектора.

На рис. 4.1 представлені успішні атаки всіх трьох векторів атаки. На цьому графіку можна відзначити цікаву особливість – зміна частки

аналізованих векторів атак, які виконує атакуючий, як виявляється ще одна слабка ланка.

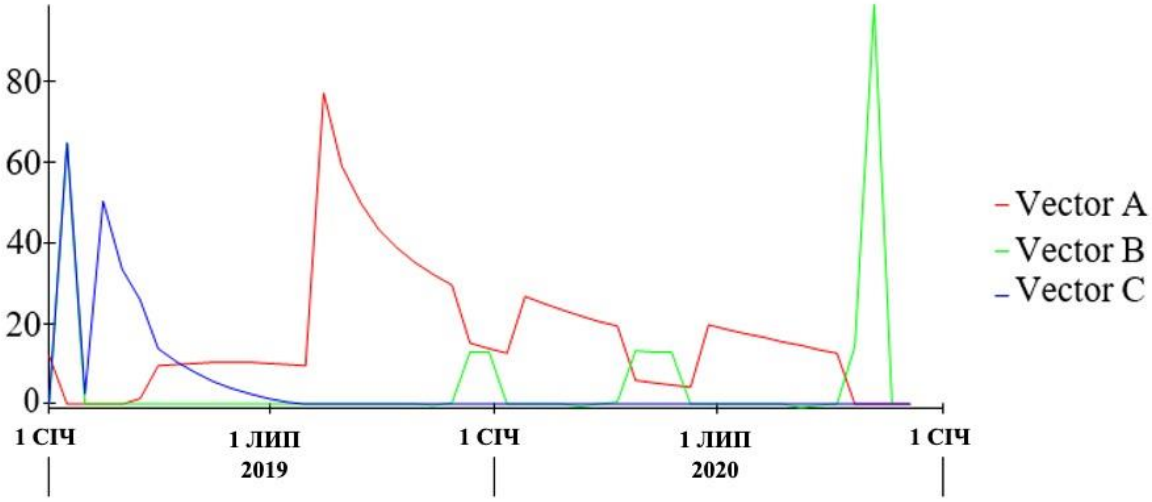


Рис. 4.1. Розподіл успішних атак за векторами (x_{27}, x_{28}, x_{29})

На рис. 4.2 представлена динаміка накопичення успішних атак за векторами.

У разі успішного завершення атаки, значення лічильника успішних атак відповідного вектора просто збільшується на одиниці.

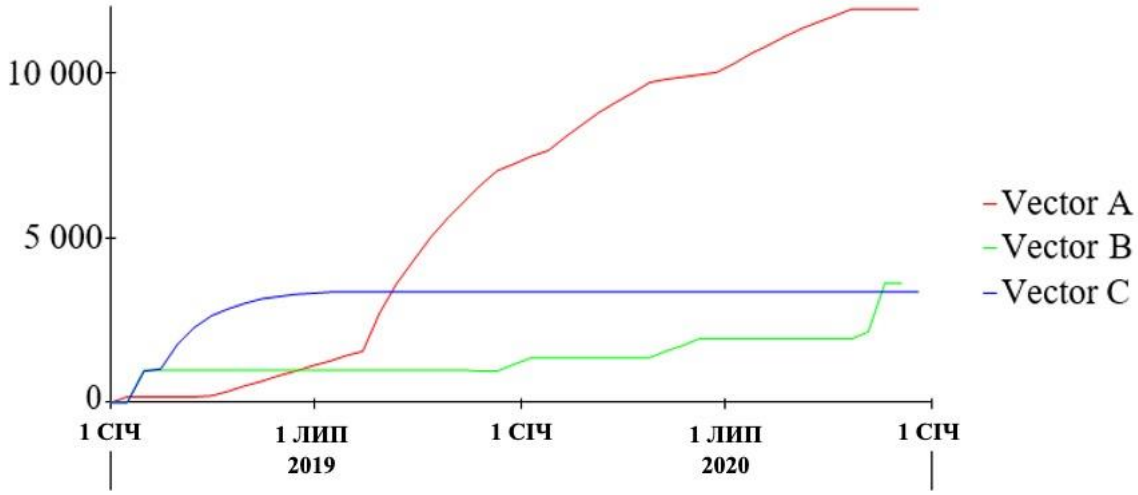


Рис. 4.2. Накопичення успішних атак за векторами (x_{33}, x_{34}, x_{35})

Одночасно зі зміною кількості успішних атак по векторам, змінюється і вразливість векторів захисту залежно від взаємодій, атакуючих та захисників. Це означає, що коли можливості зловмисників перевищують можливості захисників, вразливість у векторі захисту, який найбільше піддається ризику,

буде підвищуватися, що відповідає зниженню рівня безпеки даного вектора. На рис. 4.3 показано динаміку вразливості кожного вектора безпеки.

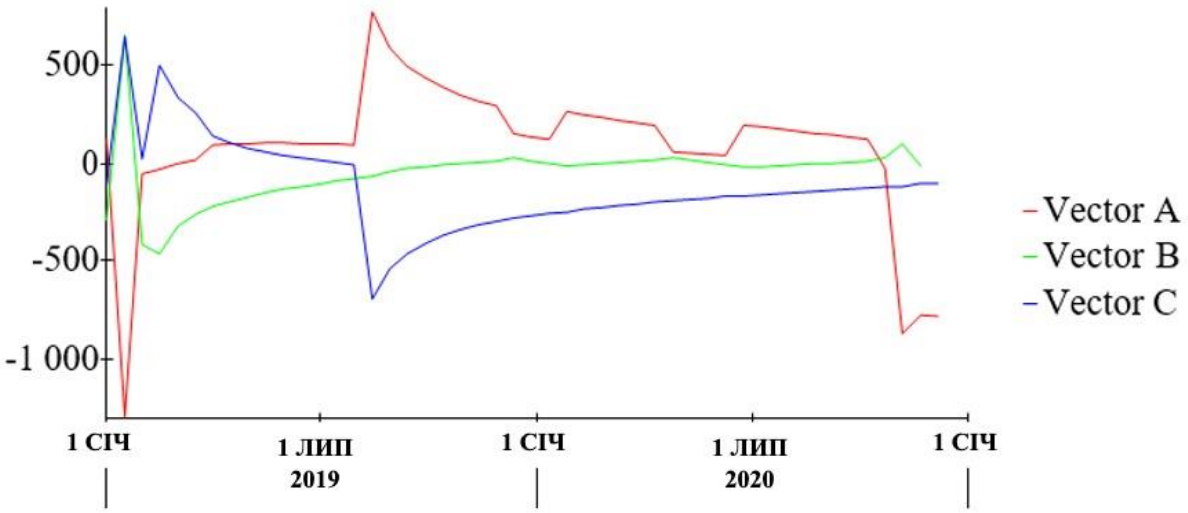


Рис. 4.3. Вразливість векторів атак (x_{24}, x_{25}, x_{26})

Щоб глибше зрозуміти динаміку інвестиційних рішень, що приймаються обома супротивниками, коли активовано механізм найслабшої ланки, на рис. 4.4 показано, як атакуючі та захисники діють відповідно до їх відповідних можливостей. Коли зловмисник визначить найслабшу ланку в захисті, він використовуватиме цю перевагу доти, доки ця перевага буде актуальною, а захисник ліквідує прогалину в безпеці, змушуючи зловмисника перейти на іншу мету в наступні періоди.

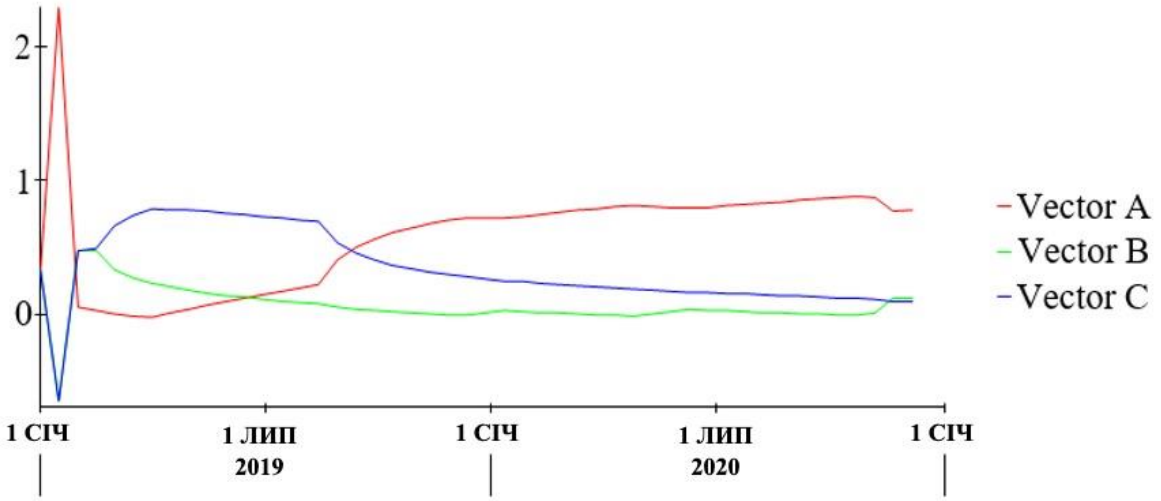


Рис. 4.4. Розподіл інвестицій по векторам атак (x_8, x_9, x_{10})

Проте захисники можуть ефективно захищати свої інформаційні активи, навіть якщо зловмисники успішно атакують найслабшу ланку у векторах безпеки. На рис. 4.5 показано зростання добробуту нападників у базовому прогоні.

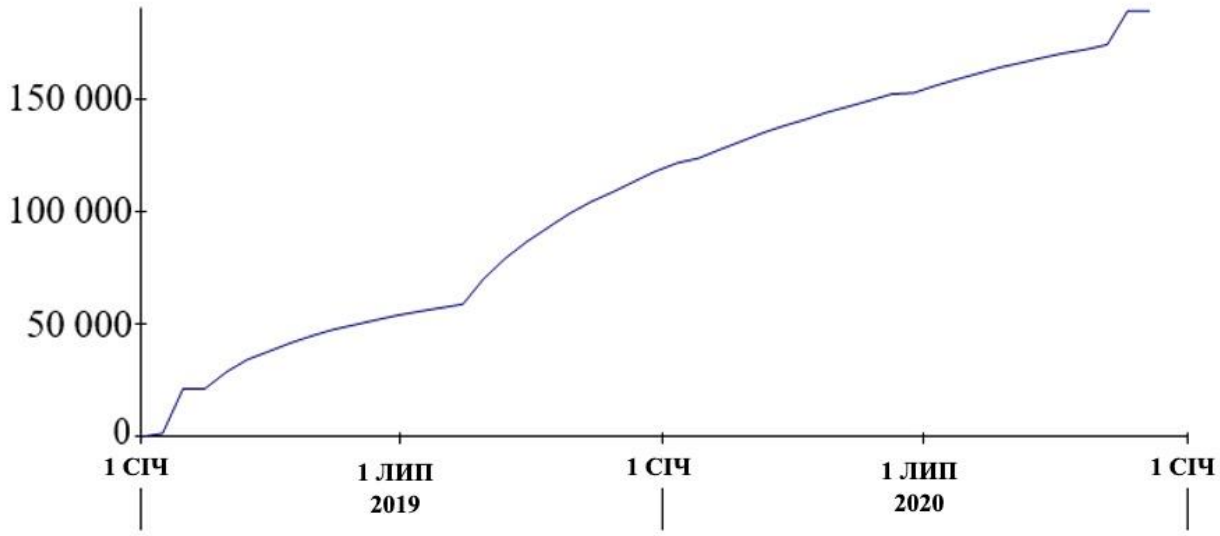


Рис. 4.5. Зростання добробуту нападників у базовому прогоні

Таким чином, імітаційний експеримент показав, що зловмисники постійно знаходять найслабшу ланку і спрямовують атаки саме на неї (вектор *A*). Після того, як захисник блокує атаки, атакуючий перемикається на таку слабку ланку.

У разі рівноваги між векторами атак (рівність кількості успішних атак у попередніх періодах) застосування підходу найслабшої ланки є неможливим. Можливості атакуючих та захисників однакові, успішних атак не відбувається, оскільки зловмисники не знаходять найслабшої ланки, а захисники можуть ефективно захищати свої інформаційні активи.

Таким чином, запропонована модель поведінки взаємодіючих агентів в критичних умовах кіберконфлікту показала, що навіть найпростіші стратегії поведінки атакуючої сторони (найслабша ланка) і сторони захисту (чекай і дивись) дозволяють забезпечити інформаційну безпеку контуру бізнес-процесів. У цьому результати моделювання, представлені на рис. 4.1 – 4.5, показують, що сторона нападу своєчасно перемикається на атаки по іншому

вектору у разі успішного відображення атаки раніше обраного вектора. Сторона захисту перенаправляє інвестиційні ресурси, забезпечуючи своєчасний захист контуру бізнес-процесів, виявляючи в системі кібербезпеки слабку ланку в даний час.

Отримані результати імітаційного моделювання як суперечать результатам моделювання під час використання інших математичних моделей (як аналітичних, імітаційних) аналогічних процесів, а й значно доповнюють отримані раніше результати. Це досягається за рахунок того, що на відміну від згаданих раніше, розглянута модель оперує не стільки з поведінкою окремих агентів кіберконфлікту, скільки з їхньою спільною діяльністю, враховує взаємний вплив агентів один на одного, а також враховує вплив на їхню поведінку середовища протистояння, яке є джерелом випадкових обурень (зокрема, що задає рівень вразливості різних векторів атак і рівень успішності їх проведення) [5].

Аналізуючи отримані результати, слід зазначити такі особливості взаємозв’язку динаміки процесів, що моделюються.

Розподіл успішних атак за векторами (рис. 4.1) перебуває відповідно до вразливісті векторів захисту від цих атак (рис. 4.3). Ця відповідність відповідає сформульованим раніше припущенням, закладеним у модель взаємодії антагоністичних агентів. Зокрема, як тільки вразливість векторів *B* і *C* стає негативною, частка атак згідно вектору *C* падає до нуля від початкового рівня 50. Це означає, що система безпеки контуру бізнес-процесів вважається невразливою для атак за цими векторами. Після чого зловмисники не роблять жодних атак на цей вектор. Причина падіння значення вразливості векторів має екзогенний характер.

Друга цікава особливість поведінки сторін конфлікту пов’язана з незначним зменшенням вразливості захисту за вектором *A*, яким здійснюється основна частина атак на контур бізнес-процесів. За умови падіння вразливості на величину 15% спочатку максимального значення 600 протягом періоду близько 2 місяців, практично синхронно відбувається

перемикання атак по вектору *B*, який за ступенем вразливості слідує за вектором *A*.

Рис. 4.2 наочно демонструє збільшення накопичення успішних атак за вектором *B* (до 500 від досягнутого раніше накопиченого значення 1000, що зберігається протягом усього попереднього часу). При цьому по невразливому вектору *C* накопичення успішних атак не спостерігається (рис. 4.3), так як сторона, що атакує, не розглядає цей вектор як перспективний для атак.

Розподіл атак за відповідними векторами та їх успішне (або неуспішне) проведення призводять до наступної інвестиційної активності сторони, що захищається, як це випливає з визначення сценарію «чекай і дивись». Оскільки за вектором *C* як безперспективному для атакуючої сторони атаки не робляться, то частина інвестицій на захист даного вектора падає до 0.

На рис. 4.4 видно, що початковий розподіл інвестицій ставився в такому вигляді: вектор *A* – 0%, вектор *B* – 50%, вектор *C* – 50%. Оскільки вектор *A* є найбільш вразливим, що випливає з аналізу атак, що проводяться стороною захисту, інвестиції перерозподіляються між векторами, а частки коштів, що спрямовані на забезпечення захисту (зниження вразливості) від атак вектора *A*, підвищується до 80% від загального обсягу. Оскільки вразливість двох інших векторів не нульова, то на забезпечення захисту від атак цих векторів (*B* і *C*) також виділяються відповідні засоби. Крім, ще однією особливістю поведінки сторони, що захищається. Оскільки по вектору *C* атак не робиться, то захисники не можуть зробити висновок щодо вразливості цього вектора (відсутність результатів відображення атак через їх відсутність). Тому захисник не скорочує до нуля інвестування у вектор *C*, створюючи певний «страховий» фонд у розмірі до 10% від загальної суми інвестицій.

Рис. 4.5 демонструє зниження темпів приросту загального добробуту атакуючих, яке припадає якраз на ті моменти часу, коли вразливість вектора

A падає, а відповідно падає кількість успішних атак. Темп приросту відновлюється, коли вразливість вектора *A* знову зростає.

Загальним висновком за результатами аналізу змінних моделі взаємодії конфліктуючих агентів в умовах кіберконфлікту є узгодженість динаміки процесів за окремими етапами функціонування системи безпеки та збіг результатів моделювання впливу поведінкових аспектів кіберконфлікту на інвестиційні процеси в системах безпеки в цілому з отриманими результатами інших авторів.

Таким чином, здійснено імітаційне моделювання поведінки взаємодіючих мобільних агентів. Отримана модель дозволяє її використання для проведення експериментальних досліджень параметрів та оцінювання ефективності мережецентричного управління мобільними агентами. Однак, для повноцінного дослідження ефективності є потреба у моделюванні алгоритму мережецентричного управління мобільними агентами в динамічному середовищі. Це має надати можливість проведення зазначених досліджень у реальному часі без зайвих витрат коштів.

4.2. Моделювання взаємодії мобільних агентів на основі мережецентричного управління з використанням диференціальної гри

Аналогічним чином як моделювання поведінки взаємодіючих мобільних агентів має місце і необхідність щодо моделювання алгоритму управління ними у динамічному середовищі.

Розглядається посадка МА із коротким пробігом. Весь процес посадки умовно розбивається на дві ділянки. Як перша ділянка ($i = 1$) вибирається ділянка від моменту початку посадки (висота 50 м) до висоти 15,2 м над посадковою поверхнею, при досягненні якої відповідно до критеріїв льотної придатності для МА [19] апарат повинен досягти рекомендованої вертикальної швидкості зниження. Друга ділянка ($i = 2$) починається з висоти 15,2 м і триває до моменту торкання МА землі, при досягненні якої МА

повинен мати задану горизонтальну посадкову швидкість та мінімальну вертикальну швидкість зниження [1].

За критеріями якості для кожної ділянки посадки приймався функціонал, що мінімізує горизонтальну посадкову швидкість МА. Обмеження на параметри руху та управління не враховувалися, тому що для аеростатичних МА екстремальні випадки, що виникають у польоті (відмова двигуна, відмова системи автоматичного управління та ін.) не призводять до виникнення аварійних ситуацій.

Як модель траєкторного руху МА прийнята спрощена система диференціальних рівнянь, що описує траєкторний рух дирижабля в проєкціях на осі пов’язаної системи координат, початок якої збігається з центром газового об’єму оболонки. Складена за цією моделлю спектральна модель поздовжнього руху МА наведена у роботі [2].

У розгорнутому вигляді метод синтезу багатоетапного термінального управління посадкою МА та отриманий замкнутий закон управління наведено у роботі [1].

Як об’єкт дослідження обраний МА класичного типу невеликого обсягу. Прийнято, що з боків МА встановлено два реверсивні маршові двигуни з повітряними гвинтами, які відхиляються до + 90° вгору (на кабрування) і до -120° (на пікірування). Повітряні гвинти розташовані в кільцевих насадках і моделювалися як джерела сили.

Аеродинамічні характеристики МА визначено розрахунковим шляхом з урахуванням результатів [36]. Аеродинамічна інтерференція між оболонкою МА та її повітряними гвинтами в кільцевих насадках не враховувалася. Вплив близькості ґрунту на аеродинамічні властивості апарату враховувалося емпіричними залежностями, отриманими обробкою експериментальних даних дослідження моделі МА в аеродинамічній трубі. Моделювання пілота як елемента контура управління не проводилося. Вплив вітру та швидкості відхилення вектора тяги, реверс тяги, а також величини завантаження

апарата у цій роботі не розглядаються. Ці питання є предметом окремого дослідження.

Процедура моделювання посадки МА з вектором тяги, що відхиляється, полягала в наступному. У вихідному стані МА був збалансований на висоті 50 м у польоті, що встановився, на швидкості 36 км/год. Після цього вектор тяги двигунів відхилявся з таким розрахунком, щоб зниження проводилося в задану точку приземлення з мінімальною посадковою швидкістю [1].

На рис. 4.6 показані результати моделювання траєкторії посадки МА за умови фіксованих кутів відхилення вектора тяги, що показують ефективність застосування управління відхиленням тяги вектору на МА.

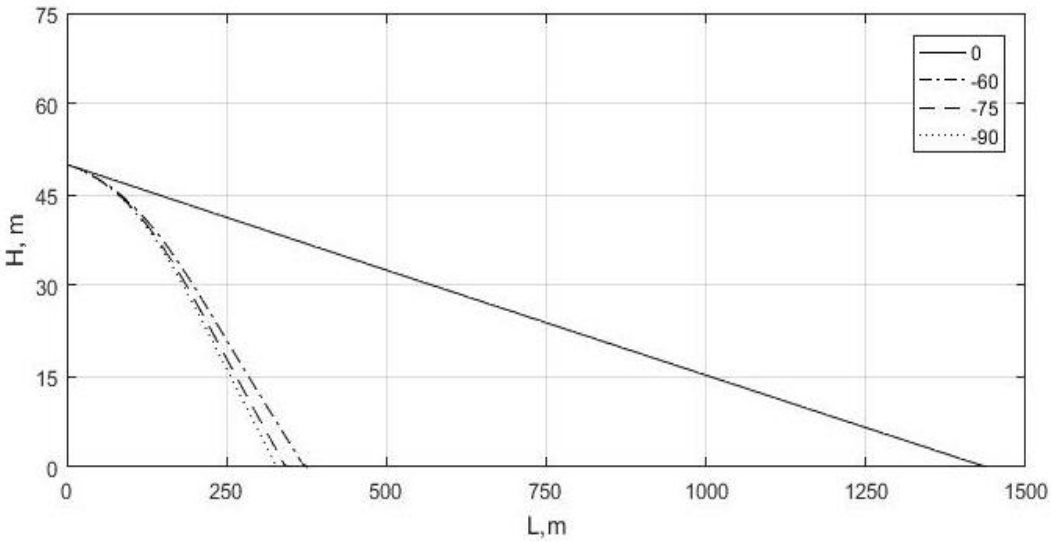


Рис. 4.6. Траєкторія посадки МА під час управління відхиленням вектору тяги

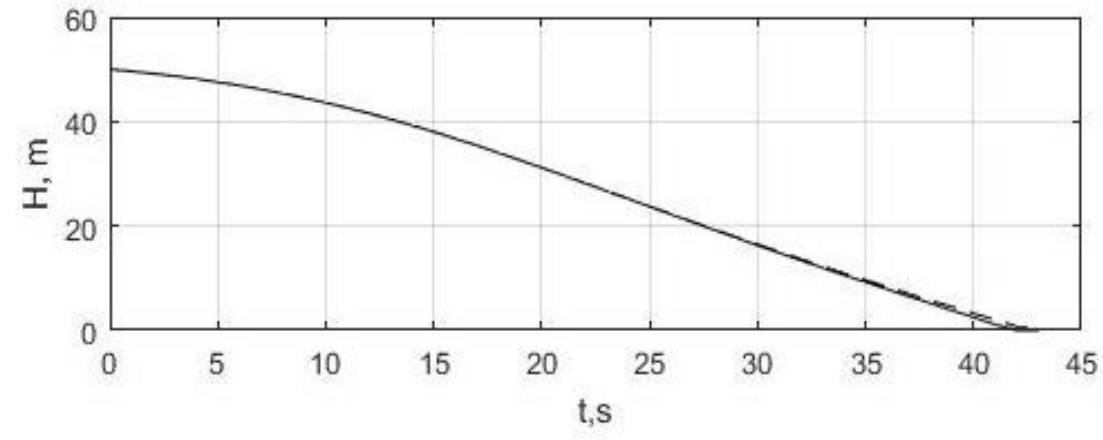
За відсутності відхилення вектора тяги посадкова дистанція становила 1440 м. За умови відхилення вектора тяги вниз на -60° посадкова дистанція істотно скоротилася і становить вже 376 м. При цьому досягається крутіша траєкторія зниження.

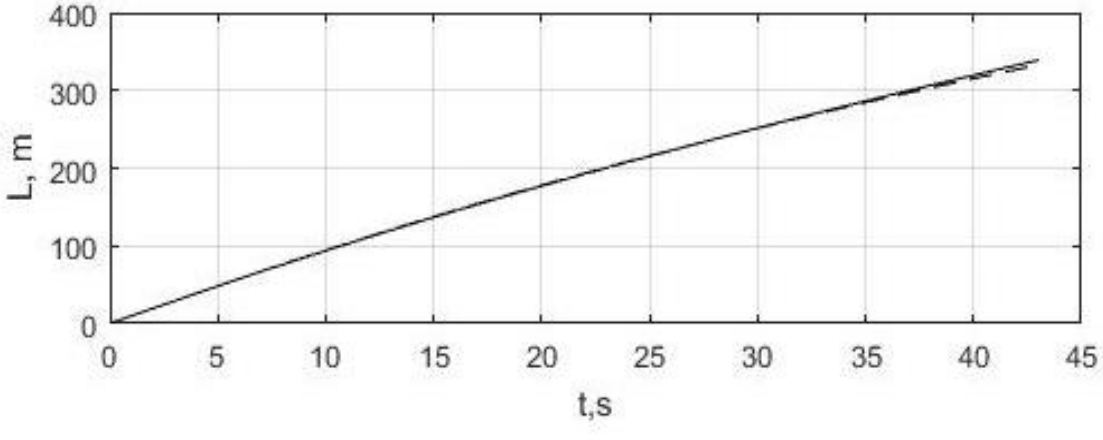
На практиці великі кути відхилення вектора тяги об’єднуються з використанням реверсування тяги двигунів під час посадки. Це з тим, що з

великих кутах відхилення вектора тяги МА може розвинути досить великі вертикальні швидкості зниження та його необхідно компенсувати рахунок зменшення тяги двигунів [20].

На рис. 4.7 показано зміну траєкторних параметрів руху МА під час посадки із синтезованим законом термінального управління та фіксованим кутом відхилення вектора тяги.

Оскільки для процедури посадки МА не встановлені чіткі критерії, то термінальними умовами при синтезі закону управління були прийняті параметри в точці торкання землі, отримані при відхиленні вектора тяги вниз на фіксований кут – 85°: горизонтальна посадкова швидкість у точці торкання землі – 6, 5 м/с, вертикальна посадкова швидкість – 0,8 м/с.





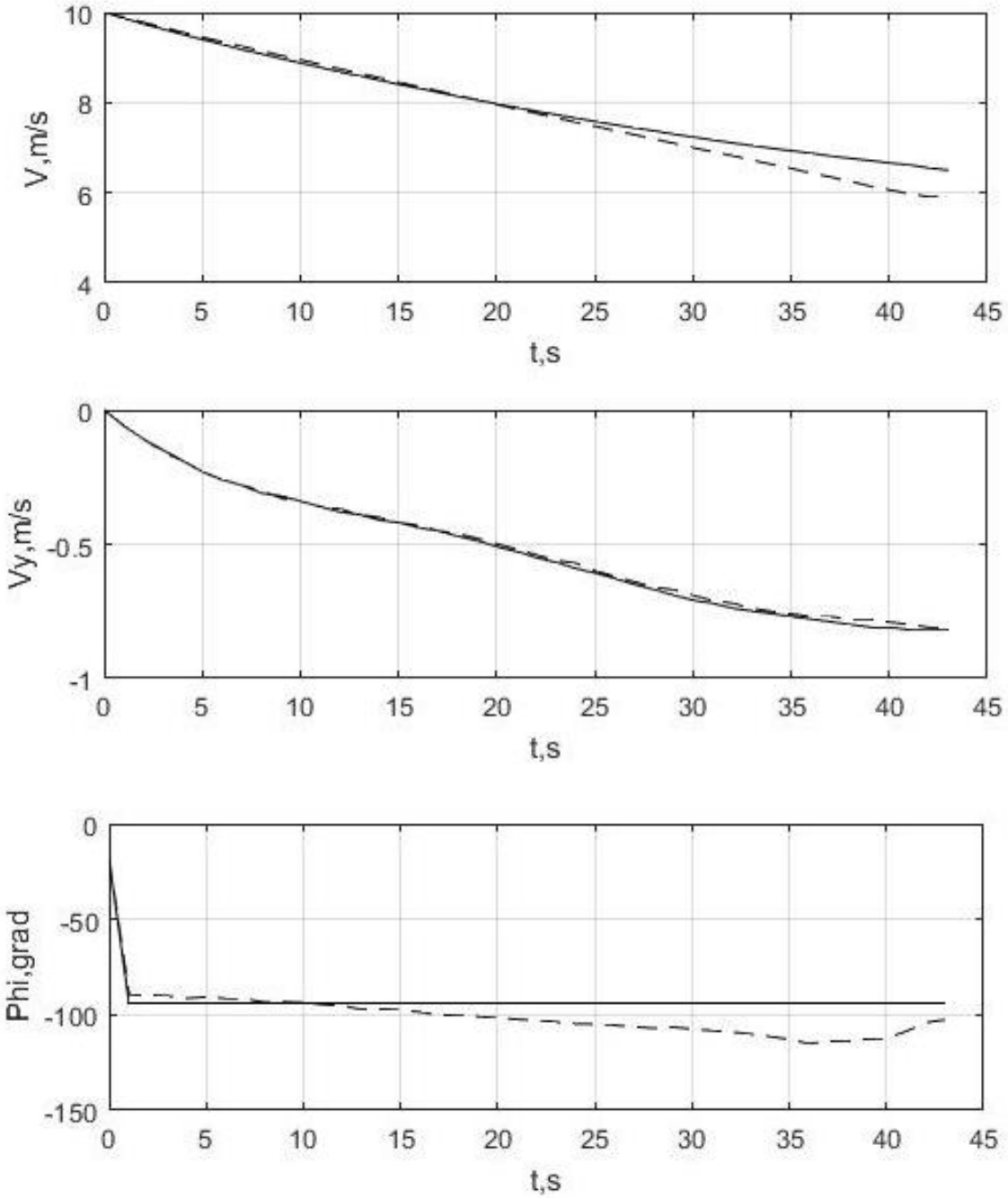


Рис. 4.7. Характеристики посадки

Порівняння посадкових характеристик показує, що у разі управління відхиленням вектору тяги за синтезованим законом управління забезпечується посадка МА в задані термінальні умови з меншою горизонтальною посадковою швидкістю, що свідчить про розширення маневрених характеристик апарату [1].

Таким чином, здійснено моделювання взаємодії мобільних агентів на основі мережецентричного управління. Отримана модель в сукупності з імітаційною моделлю щодо поведінки взаємодіючих мобільних агентів дозволяє проведення експериментальних досліджень параметрів та оцінювання ефективності мережецентричного управління мобільними агентами. Вона надає можливість проведення зазначених досліджень у реальному часі без зайвих витрат коштів.

4.3. Експериментальне дослідження ефективності мережецентричного управління мобільними агентами з використанням диференціальної гри в динамічному середовищі

На основі моделі алгоритму мережецентричного управління мобільними агентами в динамічному середовищі та імітаційної моделі щодо поведінки взаємодіючих мобільних агентів має місце необхідність проведення експериментальних досліджень параметрів й оцінювання ефективності мережецентричного управління мобільними агентами.

Для підтвердження правильності розробленого науково-методичного апарату проведено математичне моделювання процесу дослідження ефективності мережецентричного управління мобільними агентами в динамічному середовищі [2]. Програмні засоби, що використовувались, включають такі елементи:

моделювання виконувалось на персональному комп’ютері Intel® Celeron® з процесором 3.2 GHz та об’ємом оперативної пам’яті 16 Gb в операційній системі Microsoft Windows 10;

для системи управління базами даних було використано Microsoft SQL Server 2022;

середовище розробки обрано Microsoft Visual Studio 2022 Community Edition. Розробка проводилась мовою програмування C# з використанням об’єктно-орієнтованого підходу;

проведення експериментів в моделюючому середовищі включало в себе задання початкових параметрів задачі, виконання проміжних розрахунків, виведення результатів та їх візуалізацію засобами Windows Presentation Foundation.

Проведемо розрахунок мінімальної достатньої кількості вузлових мобільних агентів, % (Node Percentage) для ураження цілі [7].

Ціль вважається ураженою при одночасному виконанні наступних умов:

а) відсоток мобільних агентів які досягли цілі (Target Hit Percentage) повинен бути не меншим ніж відсоток мобільних агентів, якого було достатньо для ураження цілі (Target Hit Percentage);

б) серед мобільних агентів, які досягли цілі, є хоча б один вузловий мобільний агент (Target Reached Count > 0).

Для цього виконувалися серії зі 100 експериментів кожна, при наступних значеннях:

кількість мобільних агентів (Number Of Agents): 100;

відсоток мобільних агентів, якого буде достатньо для ураження цілі (Target Hit Percentage): 5 %.

відсоток вузлових мобільних агентів (Node Percentage): від 1 до 20 % від загальної кількості мобільних агентів;

початкові (Start Latitude, Start Longitude) та кінцеві (Target Latitude, Target Longitude) географічні координати для вузлових мобільних агентів;

відсоток мобільних агентів, з якими було втрачено зв’язок (Loss Percentage): генерується автоматично випадковим чином у діапазоні від 50 % до 90 %. При цьому поточні географічні координати такого мобільного агенту встановлюються рівними NULL.

Згідно з отриманими результатами експериментів було побудовано графіки залежностей значень кількості вузлових мобільних агентів, % (Node Percentage) до імовірності враження цілі (Target Hit Percentage) в кожному експерименті (рис. 4.8 – 4.12).

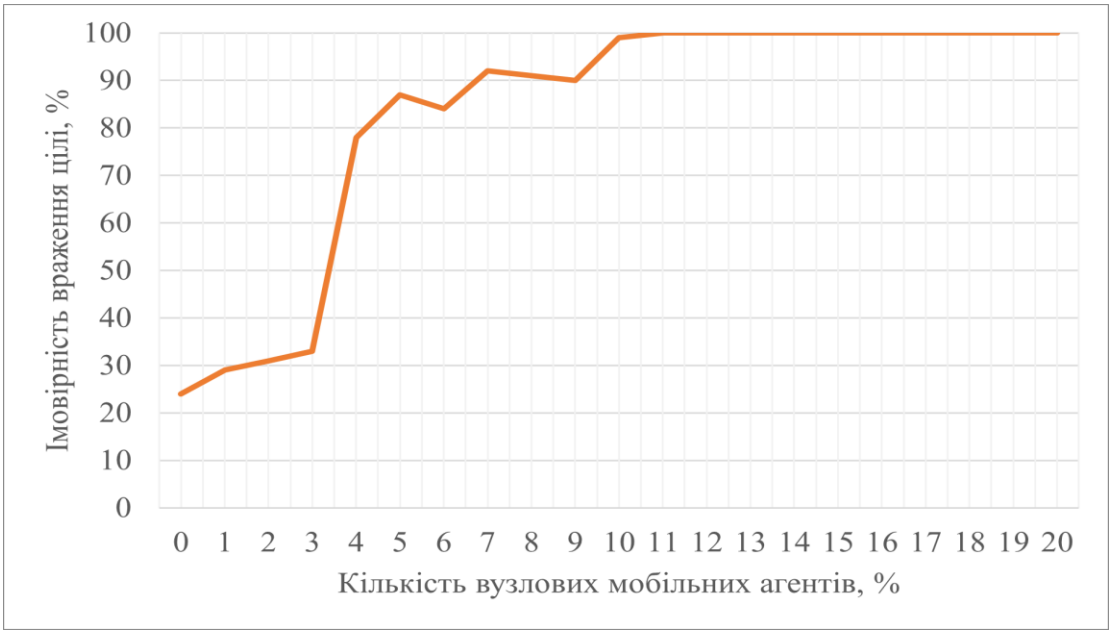


Рис. 4.8. Залежність значення кількості вузлових мобільних агентів (%) до імовірності враження цілі: відсоток мобільних агентів, з якими було втрачено зв’язок – до 50 %

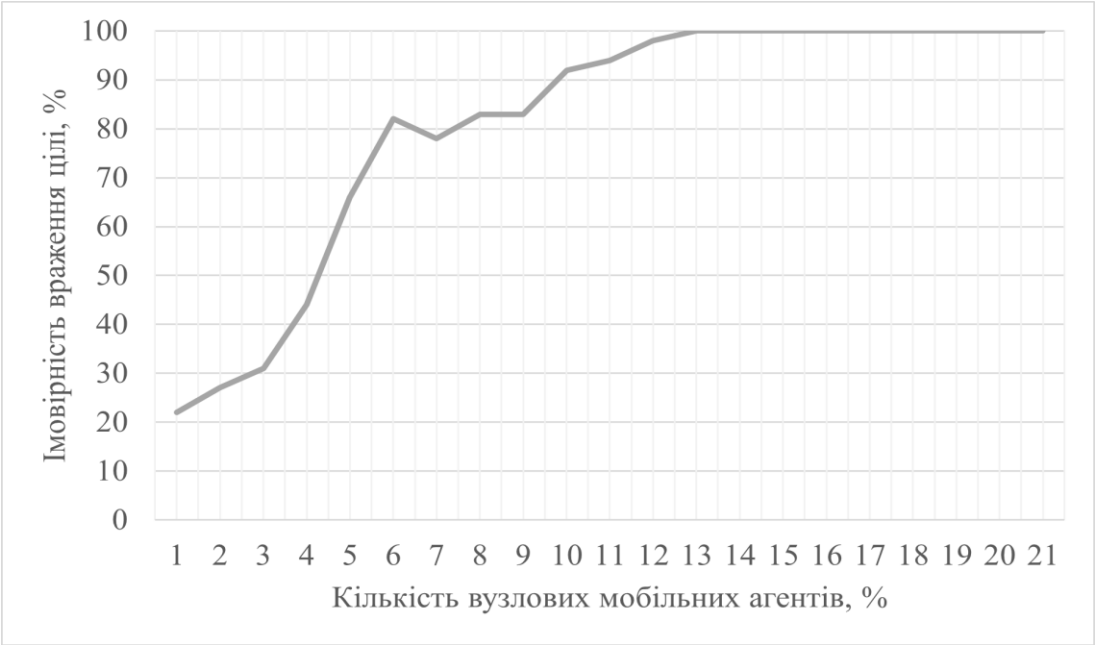


Рис. 4.9. Залежність значення кількості вузлових мобільних агентів (%) до імовірності враження цілі: відсоток мобільних агентів, з якими було втрачено зв’язок – до 60%

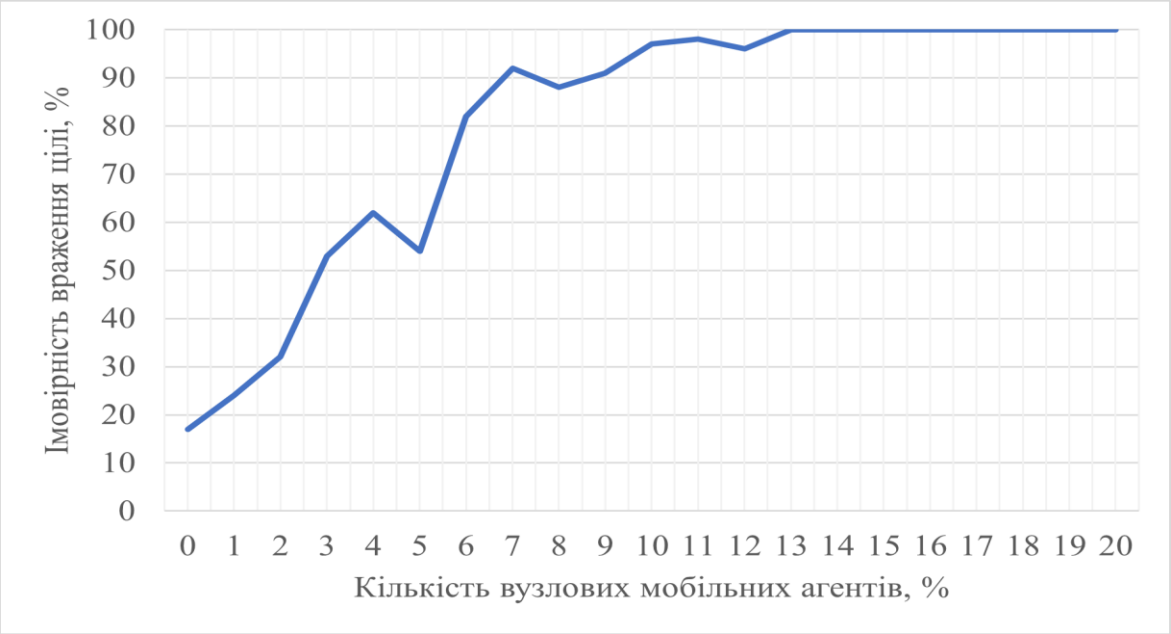


Рис. 4.10. Залежність значення кількості вузлових мобільних агентів (%) до імовірності враження цілі: відсоток мобільних агентів, з якими було втрачено зв'язок – до 70%

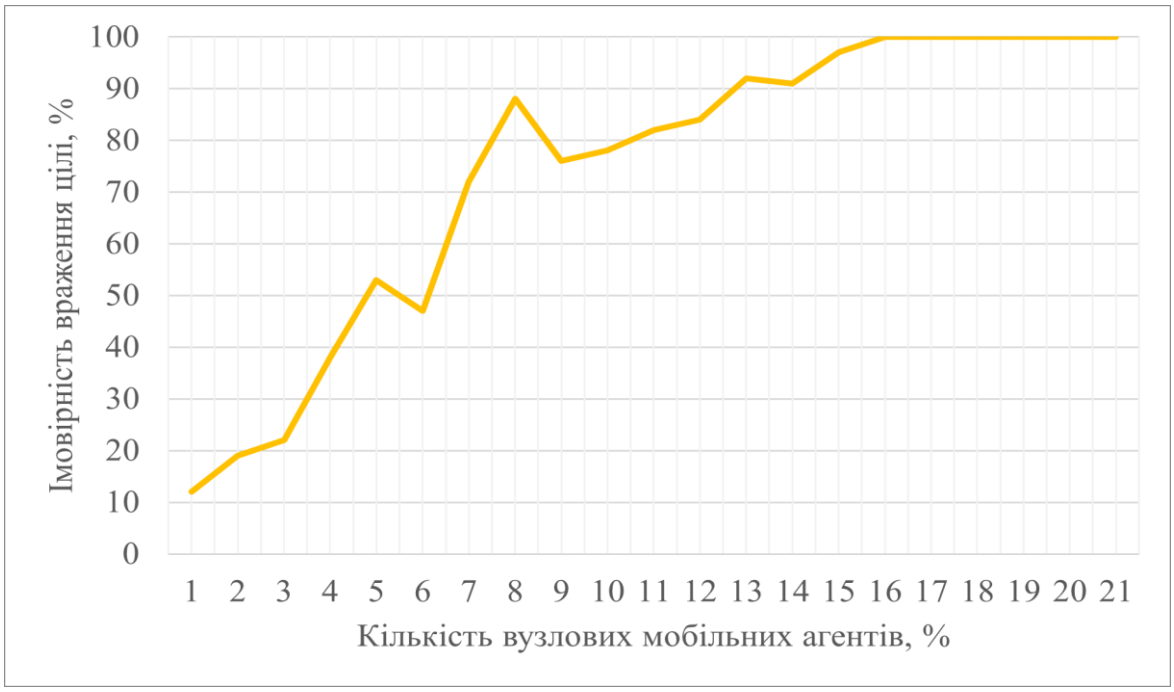


Рис. 4.11. Залежність значення кількості вузлових мобільних агентів (%) до імовірності враження цілі: відсоток мобільних агентів, з якими було втрачено зв'язок – до 80 %

Рис. 4.12. Залежність значення кількості вузлових мобільних агентів (%) до імовірності враження цілі: відсоток мобільних агентів, з якими було втрачено зв’язок – до 90 %

Узагальнюючи результати проведених експериментів, була розглянута середня ефективність ураження цілі за умови різної кількості вузлових мобільних агентів (рис. 4.13, табл. 4.2).

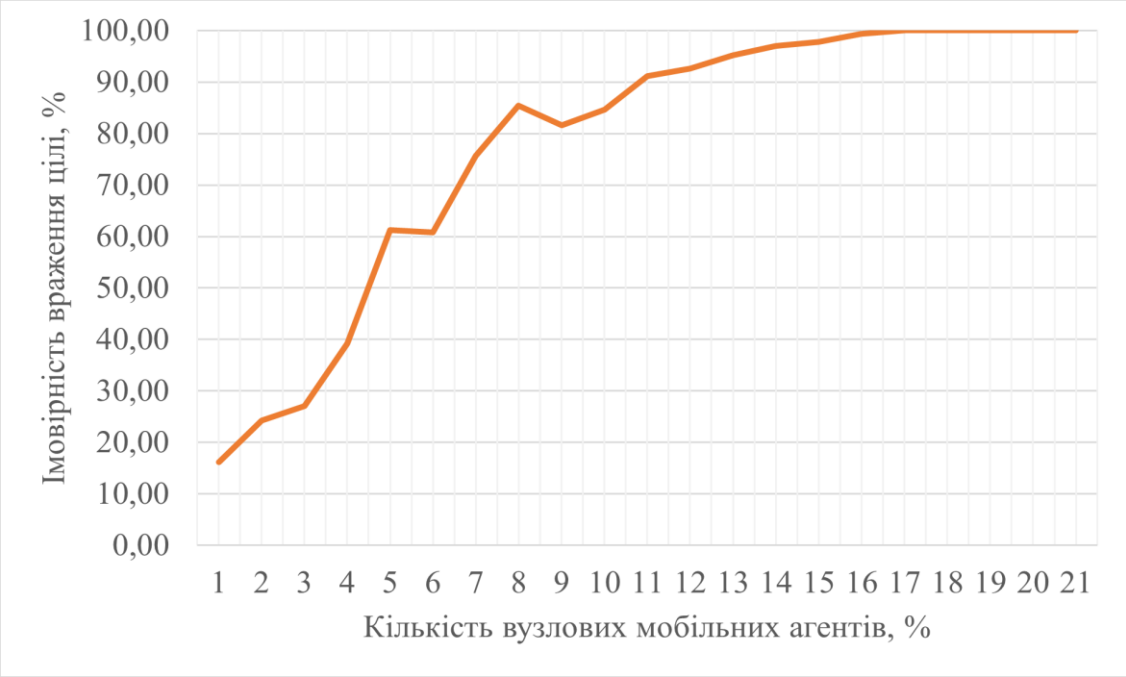


Рис. 4.13. Середня ефективність ураження цілі за умови різної кількості вузлових мобільних агентів

Таблиця 4.2

Ефективність ураження цілі за умови різної кількості вузлових мобільних агентів

Кількість вузлових мобільних агентів, %	Кількість мобільних агентів, з якими було втрачено зв’язок, %				
	до 50%	до 60%	до 70%	до 80%	до 90%
0	24	22	17	12	6
1	29	27	24	19	22
2	31	31	32	22	19
3	33	44	53	38	28
4	78	66	62	53	47
5	87	82	54	47	34
6	84	78	82	72	62
7	92	83	92	88	72
8	91	83	88	76	70
9	90	92	91	78	72
10	99	94	97	82	84
11	100	98	98	84	83
12	100	100	96	92	88
13	100	100	100	91	94
14	100	100	100	97	92
15	100	100	100	100	97
16	100	100	100	100	100
17	100	100	100	100	100
18	100	100	100	100	100
19	100	100	100	100	100
20	100	100	100	100	100

З рисунку 4.13 можна зробити висновок про те, що ефективність ураження цілі у середньому склала:

при 16% та вище вузлових мобільних агентів – 100%;

при 12 – 15% вузлових мобільних агентів – 95%;

при 10 – 11% вузлових мобільних агентів – 90%;

при 7 – 9% вузлових мобільних агентів – 80%;

при 0 – 6% вузлових мобільних агентів – менше 80%.

З вищезазначеного випливає, що для ефективного ураження цілі (80% і вище) мінімально достатня кількість вузлових мобільних агентів (nodePercentage) складає від 7 до 9%, тому використовувати більше ніж 9% вузлових мобільних агентів від загальної кількості мобільних агентів не доцільно [7].

Таким чином, виконано експериментальне дослідження параметрів та оцінювання ефективності мережецентричного управління мобільними агентами. Дослідження здійснено з використанням розробленої моделі взаємодії мобільних агентів на основі мережецентричного управління та імітаційної моделі поведінки взаємодіючих мобільних агентів у динамічному середовищі.

У результаті проведення досліджень у порівнянні з централізованим (вузлові мобільні агенти відсутні) підходом до управління виявлена ефективність мережецентричного управління. Показано, що зі збільшенням кількості вузлових мобільних агентів, ефективність ураження цілі зростає, але досягає достатніх значень (80% і вище) вже при 9% вузлових мобільних агентів від загальної кількості мобільних агентів і тому перевищувати цей показник не є доцільним.

4.4. Метод оцінювання ефективності мережецентричного управління мобільними агентами з використанням диференціальної гри в динамічному середовищі на основі використання нейронних мереж

Метод оцінювання ефективності мережецентричного управління мобільними агентами в динамічному середовищі на основі використання нейронних мереж відіграє ключову роль у визначенні придатності цього підходу для різноманітних завдань. Основні етапи цього методу можна описати наступним чином:

1. Підготовка даних для тренування: збір та підготовка великого обсягу даних, що відображають різні сценарії та динамічні умови в середовищі.

2. Створення набору даних для тренування мереж: розбиття зібраних даних на тренувальний та тестовий набори для оцінки адаптивності мережі до нових ситуацій.

3. Створення та налаштування нейронної мережі:

розробка архітектури нейронної мережі, придатної для задач управління мобільними агентами в динамічному середовищі;

налаштування параметрів та функцій для оптимального тренування.

4. Тренування нейронної мережі: використання тренувального набору для навчання мережі розпізнавати та вирішувати завдання управління агентами в різних умовах.

5. Валідація та оцінка ефективності:

використання тестового набору для оцінки точності та ефективності мережі в реальних умовах;

аналіз результатів у контексті конкретних завдань та обмежень середовища.

6. Удосконалення та адаптація:

врахування отриманих результатів для вдосконалення архітектури мережі та її параметрів;

можливість адаптації мережі до змін у динаміці середовища та завдань управління.

Для наведених у таблиці 4.3 параметрів може бути застосований механізм оцінки імовірності ураження цілі (%) на основі нейронної мережі.

Таблиця 4.3

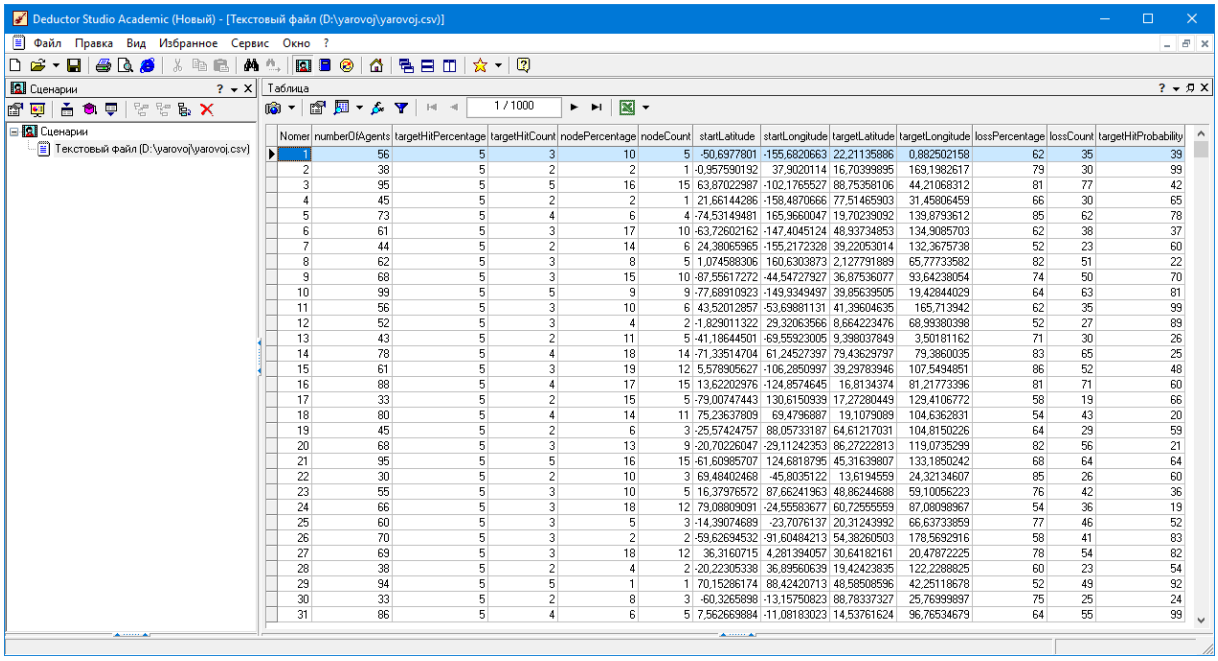
Основні параметри задачі

Параметр	**Опис**
Nomer	Номер мобільного агента
Number O fAgents	Кількість мобільних агентів, одиниць
Target Hit Percentage	Кількість мобільних агентів, якої буде достатньо для ураження цілі, %
Target Hit Count	Кількість мобільних агентів, якої буде достатньо для ураження цілі, одиниць
Node Percentage	Кількість вузлових мобільних агентів, %
Node Count	Кількість вузлових мобільних агентів, одиниць
Start Latitude	Початкові географічні координати мобільного агенту (широта), град.
Start Longitude	Початкові географічні координати мобільного агенту (довгота), град.
Target Latitude	Кінцеві географічні координати мобільного агенту (широта), град.
Target Longitude	Кінцеві географічні координати мобільного агенту (довгота), град.
Loss Percentage	Кількість мобільних агентів, з якими було втрачено зв’язок, %
Loss Count	Кількість мобільних агентів, з якими було втрачено зв’язок, одиниць
Target Hit Probability	Імовірність ураження цілі, %

Процес тренування та створення нейронної мережі був здійснений завдяки аналітичній платформі Deductor Studio Academic, яка надає високоефективні інструменти для аналізу та обробки даних. Важливим етапом було використання спеціально створеного та ретельно підготовленого набору даних для тренування мережі.

Набір даних включав в себе інформацію, отриману з розв’язання 1000 різноманітних завдань, що відігравало ключову роль у підвищенні адаптивності та точності нейронної мережі. Цей підхід до підготовки даних сприяв покращенню здатності мережі до вирішення різноманітних завдань та забезпечив високий рівень ефективності її роботи в різних контекстах.

Параметри з таблиці 4.3 були подані у якості вхідних даних для побудови нейронної мережі (рис. 4.15).



Nomer	numberOfAgents	targetHitPercentage	targetHitCount	nodePercentage	nodeCount	startLatitude	startLongitude	targetLatitude	targetLongitude	lossPercentage	lossCount	targetHitProbability
1	56	5	3	10	5	-50,6977801	-155,6820663	22,21135886	0,882502158	62	35	39
2	38	5	2	2	1	-0,957590192	37,9020114	16,70399895	169,1982617	79	30	99
3	95	5	5	16	15	63,87022987	-102,1765527	88,75358106	44,21068312	81	77	42
4	45	5	2	2	1	21,66144286	-158,4870666	77,51465903	31,45806459	66	30	65
5	73	5	4	6	4	-74,53149481	165,9660047	19,70239092	139,8793612	85	62	78
6	61	5	3	17	10	-63,72602162	-147,4045124	48,93734853	134,9085703	62	38	37
7	44	5	2	14	6	24,38065965	-155,2172328	39,22053014	132,3675738	52	23	60
8	62	5	3	8	5	1,074588306	160,6303873	2,127791889	65,77733582	82	51	22
9	68	5	3	15	10	-87,55617272	-44,54727927	36,87536077	93,64238054	74	50	70
10	99	5	5	9	9	-77,68910923	-149,9349497	39,85639505	19,42844029	64	63	81
11	56	5	3	10	6	43,52012857	-53,69881131	41,39604635	165,713942	62	35	99
12	52	5	3	4	2	-1,829011322	29,32063566	8,664223476	68,99380398	52	27	89
13	43	5	2	11	5	-41,18644501	-69,55923005	9,398037849	3,50181162	71	30	26
14	78	5	4	18	14	-71,33514704	61,24527397	79,43629797	79,3860035	83	65	25
15	61	5	3	19	12	5,578905627	-106,2850997	39,29783946	107,5494851	86	52	48
16	88	5	4	17	15	13,62202976	-124,8574645	16,8134374	81,21773396	81	71	60
17	33	5	2	15	5	-79,00747443	130,6150939	17,27280449	129,4106772	58	19	66
18	80	5	4	14	11	75,23637809	69,4796887	19,1079089	104,6362831	54	43	20
19	45	5	2	6	3	-25,57424757	88,05733187	64,61217031	104,8150226	64	29	59
20	68	5	3	13	9	-20,70226047	-29,11242353	86,27222813	119,0735299	82	56	21
21	95	5	5	16	15	-61,60985707	124,6818795	45,31639807	133,1850242	68	64	64
22	30	5	2	10	3	69,48402468	-45,8035122	13,6194559	24,32134607	85	26	60
23	55	5	3	10	5	16,37976572	87,66241963	48,86244688	59,10056223	76	42	36
24	66	5	3	18	12	79,08809091	-24,55583677	60,72555559	87,08098967	54	36	19
25	60	5	3	5	3	-14,39074689	-23,7076137	20,31243992	66,63733859	77	46	52
26	70	5	3	2	2	-59,62694532	-91,60484213	54,38260503	178,5692916	58	41	83
27	69	5	3	18	12	36,3160715	4,281394057	30,64182161	20,47872225	78	54	82
28	38	5	2	4	2	-20,22305338	36,89560639	19,42423835	122,2288825	60	23	54
29	94	5	5	1	1	70,15286174	88,42420713	48,58508596	42,25118678	52	49	92
30	33	5	2	8	3	-60,3265898	-13,15750823	88,78337327	25,76999897	75	25	24
31	86	5	4	6	5	7,562669884	-11,08183023	14,53761624	96,76534679	64	55	99

Рис. 4.15. Набір вхідних даних для побудови нейронної мережі

За результатами кореляційного аналізу вихідних даних було встановлено, що для навчання нейронної мережі є сенс використовувати не всі поля, а лише наведені в таблиці 4.4, адже решта полів на результуюче значення впливають несуттєво (рис. 4.16).

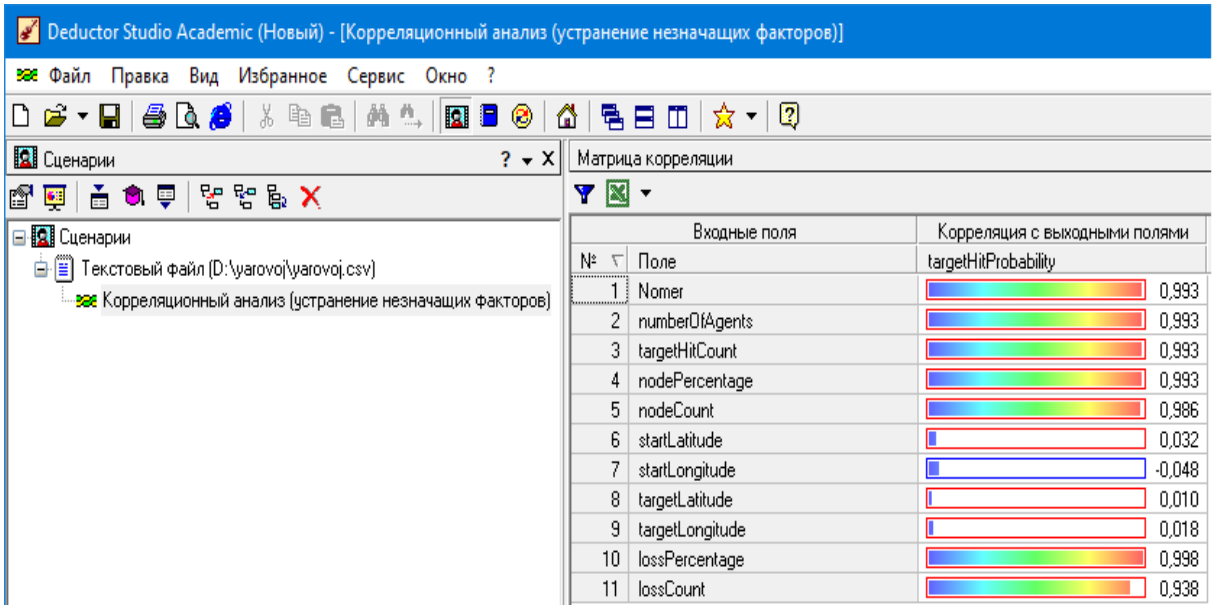


Рис. 4.16. Кореляційний аналіз вхідних даних

Таблиця 4.4

Вхідні дані для навчання нейронної мережі

Параметр	**Опис**
Nomer	Номер мобільного агента
Number Of Agents	Кількість мобільних агентів, одиниць
Target Hit Percentage	Кількість мобільних агентів, якої буде достатньо для ураження цілі, %
Target Hit Count	Кількість мобільних агентів, якої буде достатньо для ураження цілі, одиниць
Node Percentage	Кількість вузлових мобільних агентів, %
Node Count	Кількість вузлових мобільних агентів, одиниць
Loss Percentage	Кількість мобільних агентів, з якими було втрачено зв’язок, %
Loss Count	Кількість мобільних агентів, з якими було втрачено зв’язок, одиниць
Target Hit Probability	Імовірність ураження цілі, %

Серед множини вихідного набору даних було обрано співвідношення між навчальною та тестовою множиною даних (рис. 4.17).

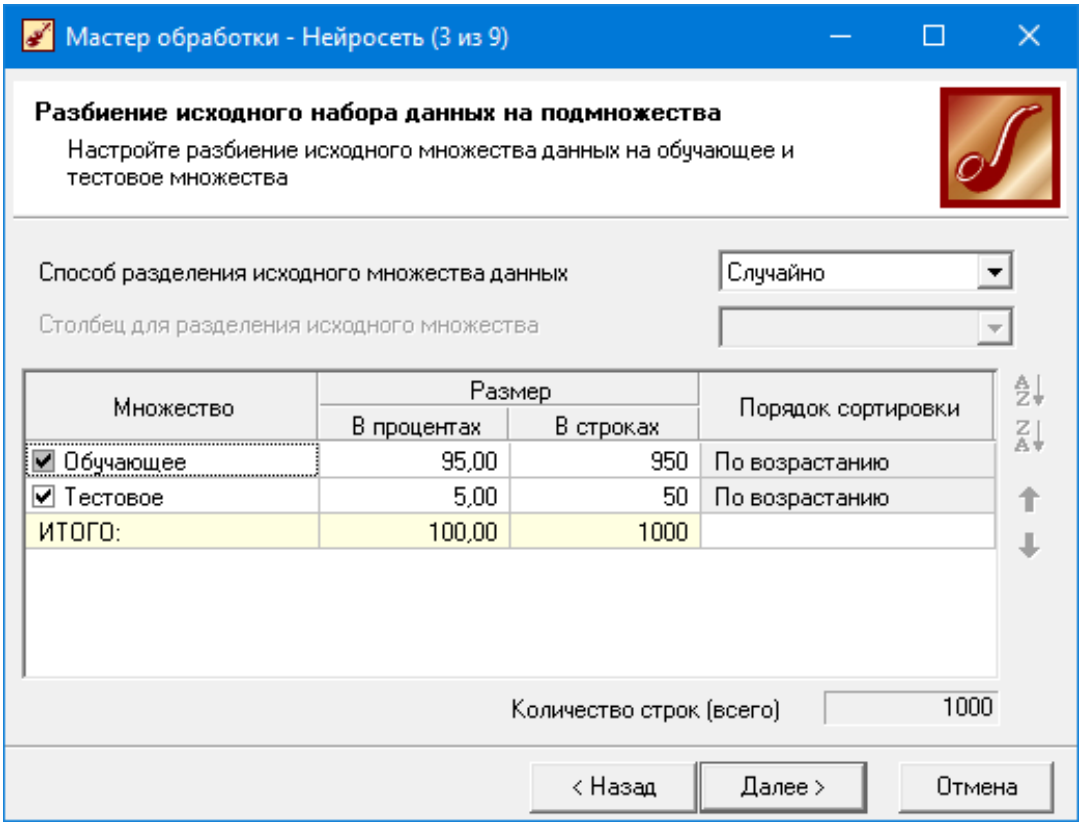


Рис. 4.17. Розбиття вхідного набору даних на підмножини

Отриманий набір даних був використаний для навчання нейронної мережі виду багатошаровий персептрон. Була встановлена наступна структура нейронної мережі: п’ять шарів нейронів (перший вхідний шар містить 7 нейронів, три проміжних шари містять 7, 3 і 5 нейрони відповідно, і п’ятий вихідний шар містить 1 нейрон), функція активації – сигмоїда (рис. 4.18). Шари нейронів, їхні розміри та функція активації визначають архітектуру мережі та її здатність до вирішення конкретних завдань. Ця структура покаже, як дані рухаються через мережу від вхідного до вихідного шару, де кожен шар виконує певні обчислення за допомогою ваг і функції активації.

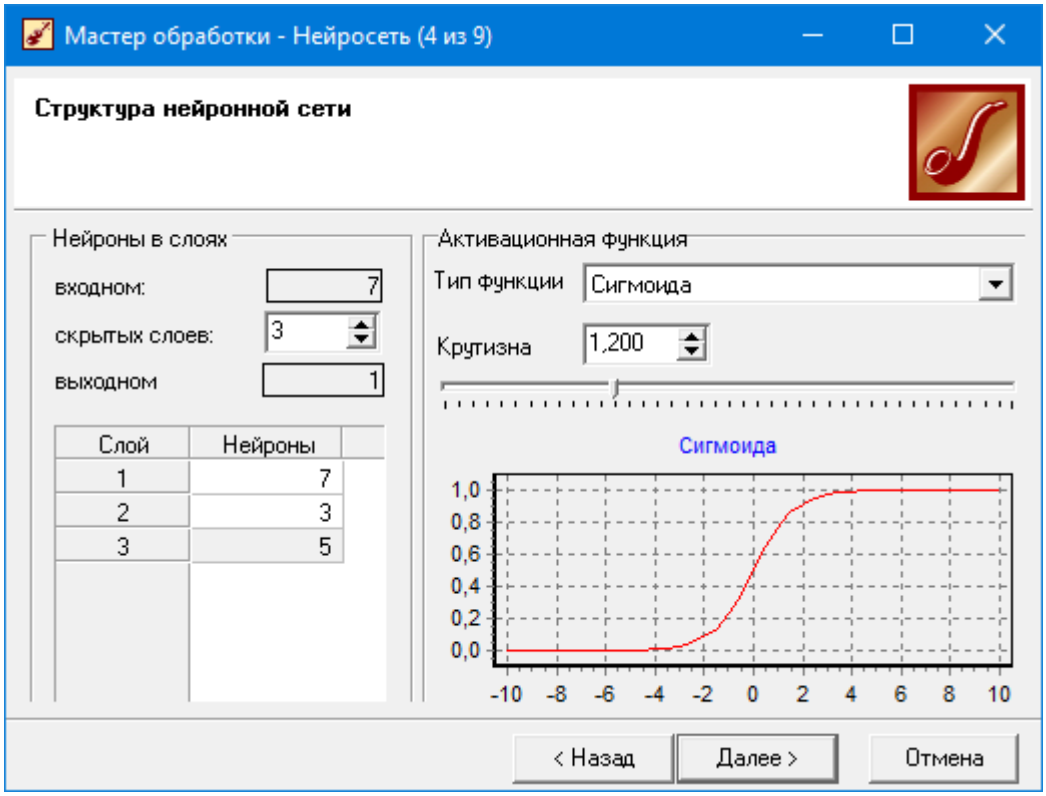


Рис. 4.18. Структура нейронної мережі

Обрано алгоритм навчання та його початкове налаштування (рис. 4.19).

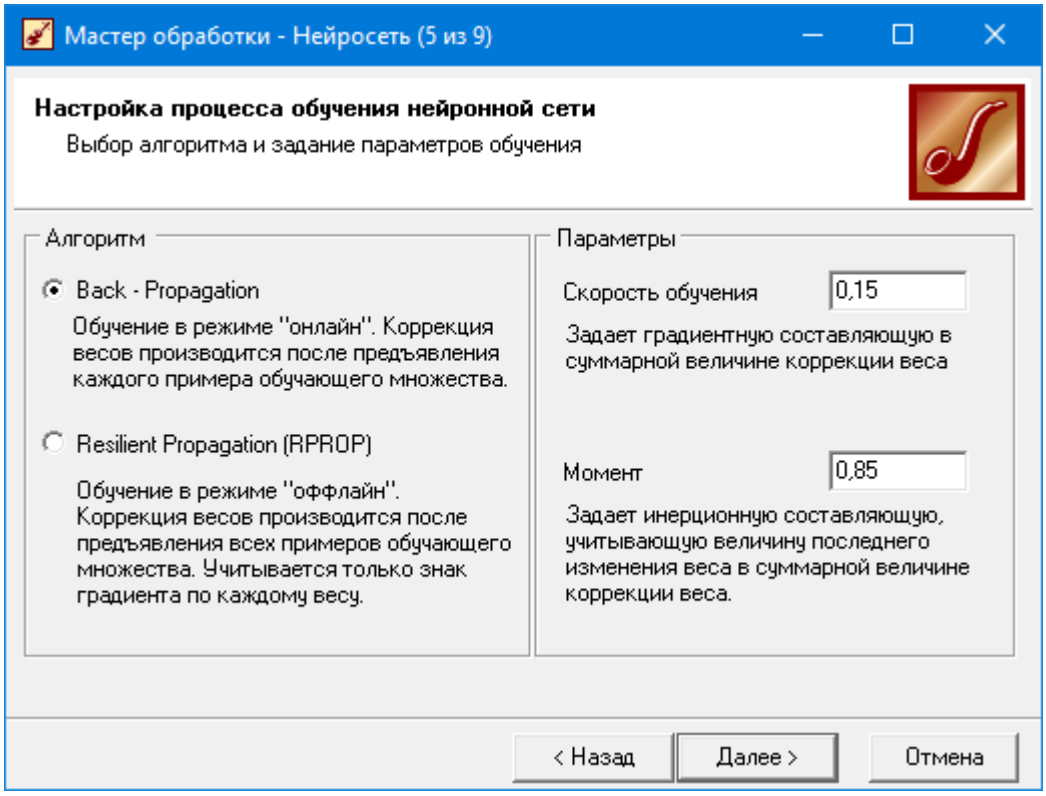


Рис. 4.19. Налаштування процесу навчання нейронної мережі

Завершення навчання відбувається за умови досягнення граничного значення відхилення розпізнавання або досягнення встановленої епохи навчання нейронної мережі (рис. 4.20).

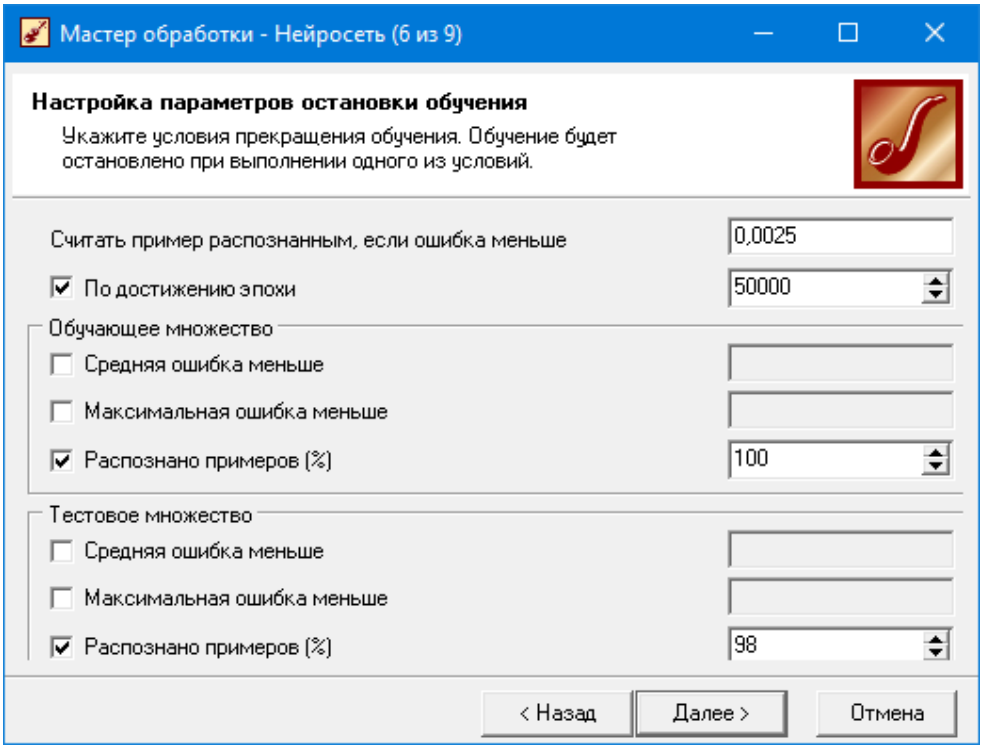


Рис. 4.20. Налаштування параметрів завершення навчання нейронної мережі

Процес навчання нейронної мережі зображено на рис. 4.21.

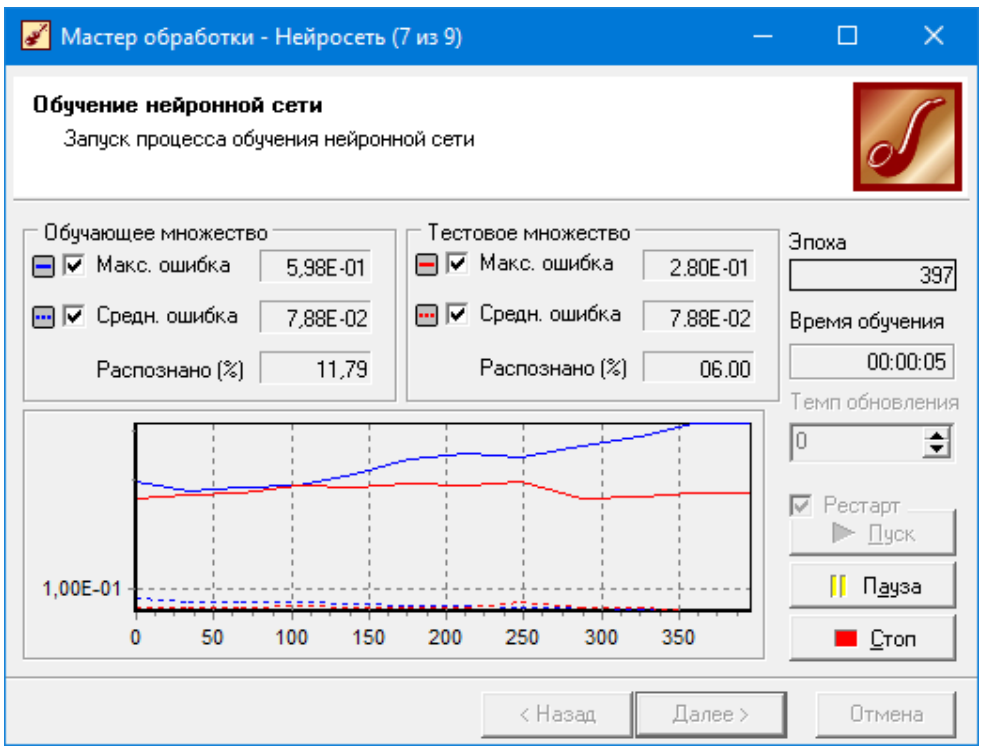


Рис. 4.21. Процес навчання нейронної мережі

Схематично структура нейронної мережі представлена на рис. 4.22, колір ліній відображає значення вагового коефіцієнта. Вихідними даними для нейронної мережі є імовірність ураження цілі (%). Подавши на вхід нейронної мережі параметри іншої задачі, на виході отримуємо прогнозне значення імовірності ураження цілі (%).

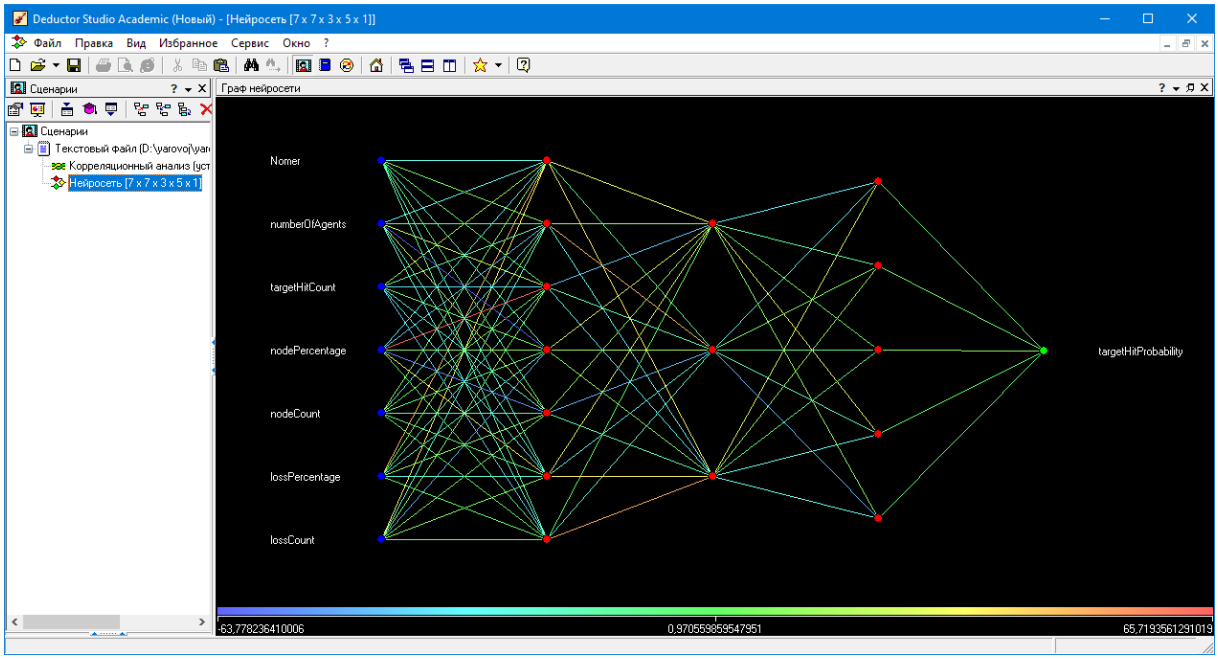


Рис. 4.22. Структура нейронної мережі

Під час навчання нейронної мережі були отримані значення імовірності ураження цілі (%). Ці результати порівнювалися з тими, що отримані за допомогою розробленої системи управління мобільними агентами, представленої у розділі 2, з визначенням відносного відхилення точності розрахунків. У середньому відхилення за 1000 експериментів становило 3,8%. Це дозволяє зробити висновок, що навчена за даною технологією нейронна мережа надає результат, що близький до ефективності системи управління мобільними агентами, заснованої на використанні методу, представленого у розділі 3.

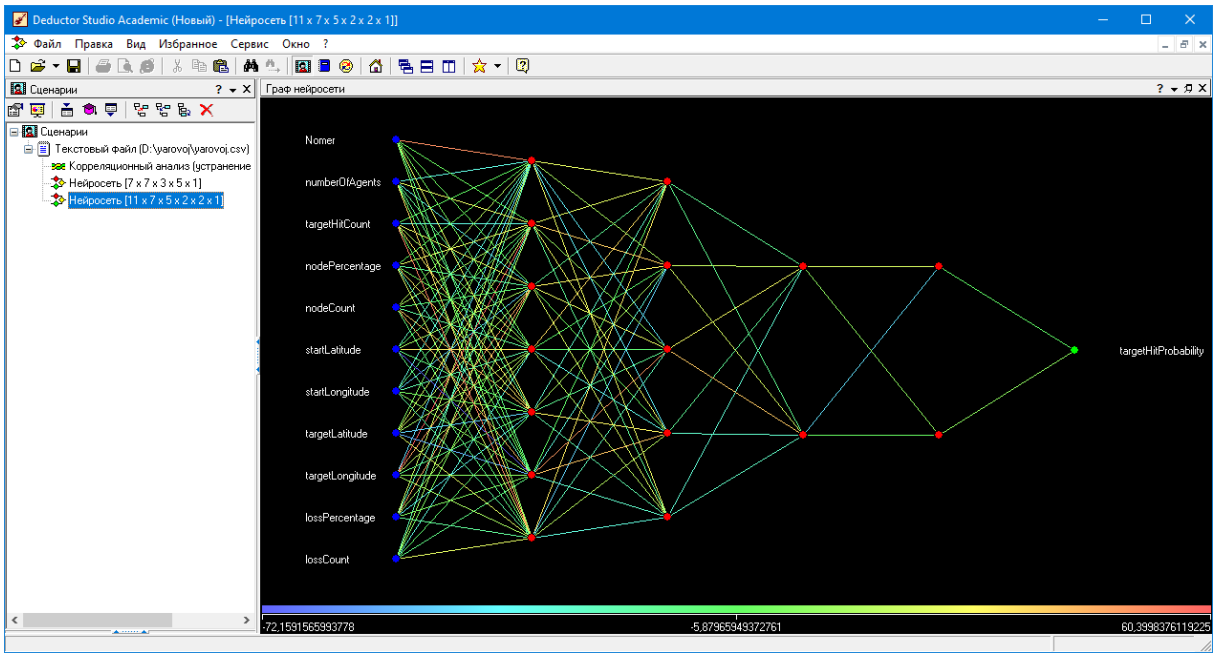
Порівняння результатів роботи нейронної мережі з вихідними даними представлено у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5

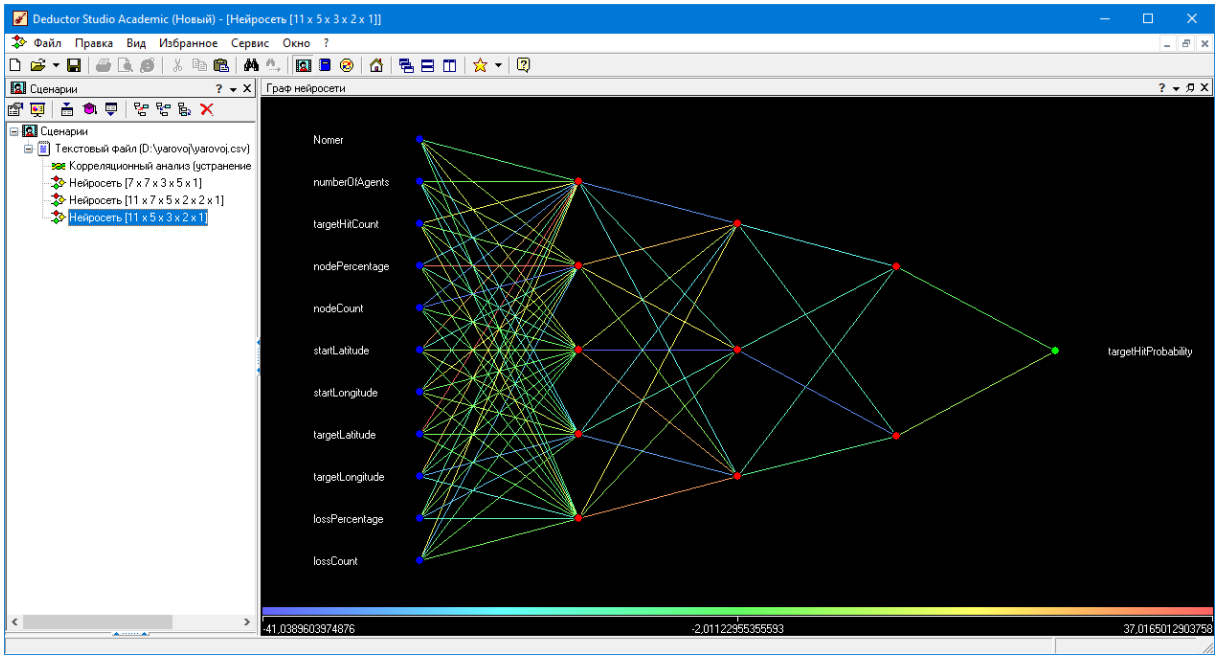
Порівняння результатів роботи нейронної мережі з вихідними даними

Number O fAgents	73	99	87	44	66	89	79	50	91
Target Hit Percentage	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Target Hit Count	4	5	4	2	3	4	4	2	5
Node Percentage	10	11	4	5	15	6	19	15	15
Node Count	7	11	3	2	10	5	15	8	14
Loss Percentage	63	51	69	69	90	63	86	63	73
Loss Count	46	50	60	30	59	56	68	31	66
Target Hit Probability	74	88	70	84	55	16	57	17	100
Дані нейромережі	77	86	68	83	58	15	60	16	99
Похибка, %	4,05	2,27	2,86	1,19	5,45	6,25	5,26	5,88	1,00

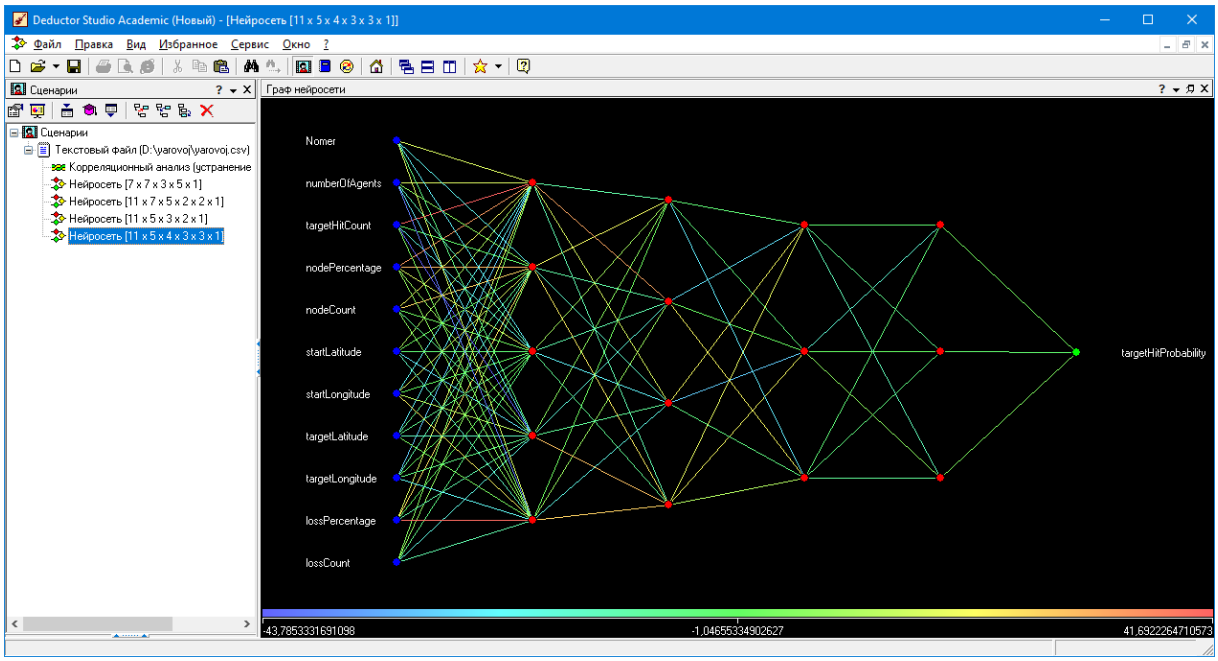
Приведена вище структура нейронної мережі була обрана емпіричним шляхом через порівняння з результатами інших типів структур нейронних мереж, графіки яких представлені на рис. 4.23.



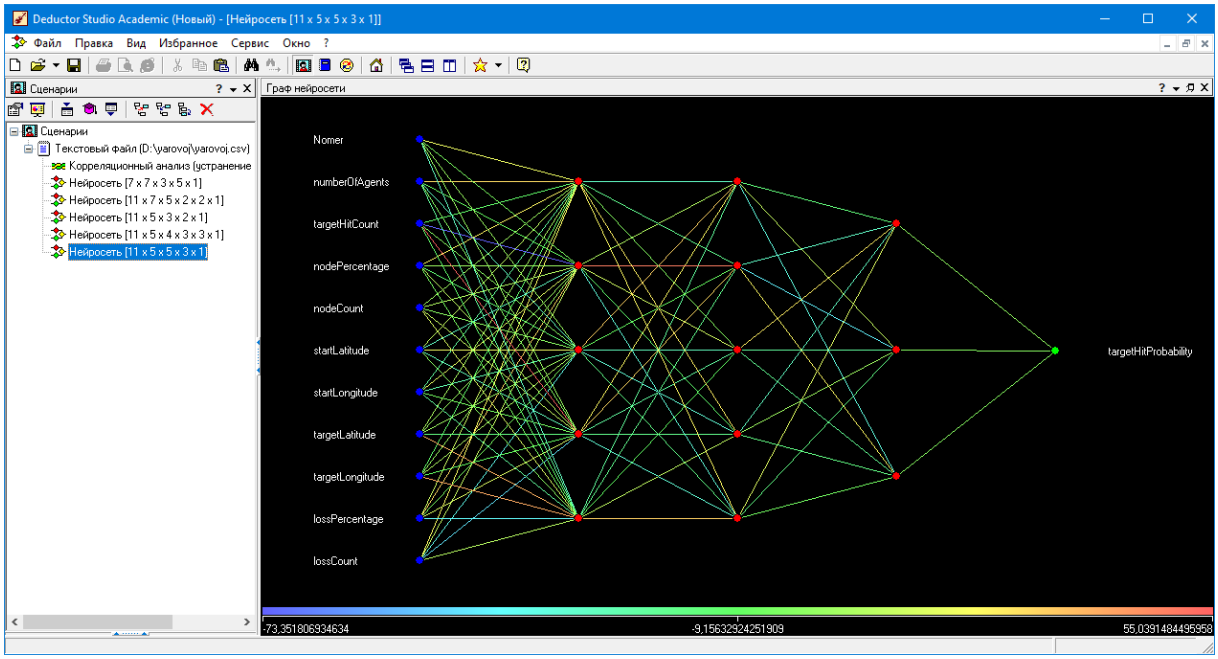
а) Нейромережа 7-5-2-2



б) Нейромережа 5-3-2



в) Нейромережа 5-4-3-3



г) Нейромережа 5-5-3

Рис. 4.23. Розглянуті структури нейронних мереж

Обрана для навчання структура нейронної мережі дозволила отримати найменшу відносну похибку розрахунків, в той час як похибки в інших наведених структурах перевищували значення 5%.

Отже, побудовану нейронну мережу можна успішно використовувати для розв’язання подібних задач, оскільки вона адекватно відображає результат і дозволяє оцінювати імовірності ураження цілі (%) в ситуаціях, що змінюються динамічно. Застосування нейронної мережі також дозволило виявити вхідні параметри, які мають слабкий вплив на результат.

Таким чином, здійснено оцінювання ефективності мережецентричного управління мобільними агентами в динамічному середовищі на основі використання нейронних мереж. Результати роботи системи управління мобільними агентами були зіставлені з висновками навчання нейронної мережі, яка визначає імовірності ураження цілі зі встановленням відносного відхилення розрахунків (3,8%). Це дозволяє прийти до висновку, що нейронна мережа навчена за цією технологією, продемонструвала результат, що є близький до ефективності системи управління мобільними агентами, заснованої на використанні запропонованого методу.

4.5. Висновки до розділу 4

1. Здійснено імітаційне моделювання поведінки взаємодіючих мобільних агентів та моделювання алгоритму мережецентричного управління мобільними агентами в динамічному середовищі. Отримані моделі в сукупності дозволяють проведення експериментальних досліджень параметрів та оцінювання ефективності мережецентричного управління мобільними агентами та надають можливість проведення зазначених досліджень у реальному часі без зайвих витрат коштів.

2. Здійснено моделювання взаємодії мобільних агентів на основі мережецентричного управління. Отримана модель в сукупності з імітаційною моделлю щодо поведінки взаємодіючих мобільних агентів дозволяє проведення експериментальних досліджень параметрів та оцінювання ефективності мережецентричного управління мобільними агентами. Вона надає можливість проведення зазначених досліджень у реальному часі без зайвих витрат коштів.

3. Виконано експериментальне дослідження параметрів та оцінювання ефективності мережецентричного управління мобільними агентами. Дослідження здійснено з використанням розробленої моделі взаємодії мобільних агентів на основі мережецентричного управління та імітаційної моделі поведінки взаємодіючих мобільних агентів у динамічному середовищі. В результаті проведення досліджень у порівнянні з централізованим (вузлові мобільні агенти відсутні) підходом до управління виявлена ефективність мережецентричного управління. Показано, що зі збільшенням кількості вузлових мобільних агентів, ефективність ураження цілі зростає, але досягає достатніх значень (80% і вище) вже при 9% вузлових мобільних агентів від загальної кількості мобільних агентів і тому перевищувати цей показник не є доцільним.

Результати роботи системи управління мобільними агентами були зіставлені з висновками навчання нейронної мережі, яка визначає імовірності

ураження цілі зі встановленням відносного відхилення розрахунків (3,8%). Це дозволяє прийти до висновку, що нейронна мережа, навчена за цією технологією, продемонструвала результат, що є близький до ефективності системи управління мобільними агентами, заснованої на використанні запропонованого методу.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота відповідно до поставленої мети є вирішенням актуального наукового завдання щодо розробки моделі, методу та інформаційної технології управління мобільними агентами на основі мережецентричного підходу з використанням диференціальної гри.

У дисертації отримані наступні наукові результати:

1. Проведено аналіз та обґрунтовано актуальність завдання підвищення ефективності систем управління мобільними агентами в динамічному середовищі. Виділено його особливості щодо досягнення результативності та економічності в умовах впливу критичних факторів таких, що мають місце у війні й військових операціях, у тому числі і в умовах ведення бойових дій та інших критичних умовах в Україні. Показано, що в цих умовах пріоритетним показником ефективності управління є показники надійності системи, оскільки з точки зору управління процес досягнення цілі здійснюватиметься доки система буде життєздатною.

Одним із шляхів щодо підвищення ефективності систем управління мобільними агентами в умовах динамічного середовища, є застосування мережецентричного підходу. Суттєвою особливість застосування мережецентричного підходу є те, що він вимагає задіяння певного інформаційного ресурсу, який виражається через використання ефективних інформаційно-комунікаційних систем.

2. Вперше розроблено модель системи передачі даних для забезпечення мережецентричного управління мобільними агентами. Розроблена модель ґрунтується на оптимізації системи передачі даних з блукаючим центром управління, що дозволяє забезпечити задану ефективність мережецентричного управління.

Модель є відображенням процесів забезпечення інформаційного обміну між МА, ВМА, КМА та ЦУ з оптимізацією побудови структури мережі з кожним її оновленням. Критерієм оптимальності цієї побудови є мінімум

затрат ресурсів під час забезпечення заданої ефективності управління. Модель передбачає автоматизацію створення системи ПД та можливість встановлення зв’язку з великою кількістю агентів.

3. Вперше розроблено математичну модель моніторингу динамічного середовища мобільних агентів, в умовах зростання впливу завадо-факторів. Розроблена модель базується на зростанні впливу завадо-факторів, що дозволяє створити систему моніторингу динамічного середовища мережецентричного управління мобільними агентами.

Отримана модель передбачає обмеження трьома векторами загроз та засобами протидії їм, яке з точки зору практичної реалізації є доцільним. Вона може бути легко адаптована не лише під конкретний вид кібератак, а й під їхню кількість. Також обмеженням моделі є уніфікована вартість кібератаки для всіх векторів, яка не залежить від засобів протидії. Це обмеження може бути легко усунуто в процесі адаптації моделі для конкретного об’єкта кібератак та їх типу.

4. Вперше розроблено метод мережецентричного управління мобільними агентами з використанням диференціальної гри. Розроблений метод ґрунтується на основі рішення задач оптимізації у вигляді двох гравців, що дозволяє реалізувати ефективне управління в умовах невизначених збурень.

Здійснено аналіз функціонування системи та визначено засоби багатоетапного автоматичного управління мобільними агентами і побудову структурної схеми мобільного агента.

5. Удосконалено інформаційну технологію управління мобільними агентами в динамічному середовищі, з урахуванням мережецентричної організації їх взаємодії. Отримана інформаційна технологія відрізняється від існуючих тим, що вона побудована на основі мережецентричної організації взаємодії агентів з використанням диференціальної гри, для управління ними в критичних умовах, що дозволяє створити ефективну систему мережецентричного управління мобільними агентами.

6. Здійснено моделювання основних процесів взаємодії мобільних агентів, виконано експериментальне дослідження параметрів та оцінювання ефективності мережецентричного управління мобільними агентами у порівнянні з централізованим підходом. Показано, що зі збільшенням кількості вузлових мобільних агентів, ефективність ураження цілі зростає, але досягає достатніх значень (80% і вище) вже при 9% вузлових мобільних агентів від загальної кількості мобільних агентів і тому перевищувати цей показник не є доцільним. Результати роботи системи управління мобільними агентами були зіставлені з висновками навчання нейронної мережі, яка визначає імовірності ураження цілі із встановленням відносного відхилення розрахунків (3,8%).

7. Результати дисертаційного дослідження мають практичне впровадження:

в конструкторському бюро інформаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського;

в навчальний процес факультету інформатики та обчислювальної техніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» для студентів спеціальностей 126 «Інформаційні системи та технології та 121 «Інженерія програмного забезпечення»;

у навчальний процес кафедри Військової підготовки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» для студентів за військово-обліковою спеціальністю «Експлуатація та ремонт безпілотних авіаційних комплексів»;

у навчальний процес кафедри комунікаційних технологій та кіберзахисту Національного університету оборони України;

у навчальний процес кафедри «Спеціальних інформаційних систем та робототехнічних комплексів» Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут.

8. Достовірність результатів забезпечується коректністю використання математичних положень термінів та прийомів щодо доведень і обґрунтувань тверджень та підтверджується результатами наведених експериментальних досліджень. Таким чином, наукове завдання в дисертації виконано, мета досягнута.

9. Розроблені модель системи передачі даних, математична модель моніторингу динамічного середовища мобільних агентів, метод мережецентричного управління мобільними агентами з використанням диференціальної гри та інформаційна технологія управління мають перспективу ефективного використання в практичних застосунках, що характеризуються підвищеним впливом завадо-факторів у динамічному середовищі.

СПИСОК ВИКОРИСТАННИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гусинін А.В., Яровий О.В., Антонова-Рафі Ю.В. Оптимізація керування посадкою дирижабля на основі багатоетапного методу диференціальних перетворень. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2017. Вип. 5 (45). С. 12–17.

2. Козловський В.В., Яровий О.В., Сопільняк Д.О. Моделювання характеристик захисних діелектричних покриттів: міжвідомчий науково-технічний збірник. *Адаптивні системи автоматичного управління*. 2017. № 2 (31). С. 31–37.

3. Яровий О.В. Системи управління безпілотними літальними апаратами для здійснення моніторингу наземних об'єктів. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2018. Вип. 3 (49). С. 33–38.

4. Пархомей І.Р., Яровий О.В., Дибань А.В. Модернізація системи тактової синхронізації з метою підвищення швидкодії та динамічної точності: міжвідомчий науково-технічний збірник. *Адаптивні системи автоматичного управління.* 2018. № 1 (32). С. 120–136.

5. Milov O., Yevseiev S., Ivanchenko Y., Milevskyi S., Nesterov O., Puchkov O., Salii A., Tymochko O., Tiurin V., Yarovyi A. Development of the model of the antagonistic agents behavior under a cyber conflict. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729-3774 (Східно-Європейський журнал передових технологій)*. 2019. Т 4, № 9 (100). С. 6–19. (This journal is indexed in Elsevier Scopus).

6. Жук О.В., Дніпровська А.М., Яровий О.В., Рущак О.А. Аналіз ефективності використання атмосферних оптичних систем передачі. *Information Technology and Security*, January-June 2019, Vol. 7, Iss. 1 (12), P. 99–109.

7. Zavgorodnii V., Braykovs′ka N., Yarovyi O., Zavgorodnya A., Liskin V., Mukhin O. The Method of Restoring Parameters of Mobile Agents in a Unified Dynamic Environment Considering Similarity Coefficients. *International Journal*

of Computer Network and Information Security (IJCNIS). 2023. Vol.15, No.4. P. 25–35. (This journal is indexed in Elsevier Scopus).

8. Яровий О.В., Завгородній В.В. Розробка системи управління мобільними агентами. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. Вип. 3 (98). 2023. Херсон. С. 29–36.

9. Яровий О.В., Завгородній В.В. Розробка структурної схеми управління мобільними агентами. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2023. Т. 34 (73). № 4. С.124–128.

10. Gusynin A., Yarovoy O., Antonova-Rafi Ju., Khudetskyy I. Synthesis of optimal multi-step control algorithms by UAVs based on differential-and-game approach. 2017 IEEE 4th International Conference *"Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD)"*, October 17-19, 2017, Kyiv, Ukraine, P. 100–103. (This conference is indexed in Elsevier Scopus).

11. Яровий О.В., Пархомей І.Р. Енергетичний потенціал атмосферних оптичних систем передачі: тези доповідей XII Міжнародної науково-технічної конференції «*Проблеми телекомунікацій*», 16–20 квітня 2018 року. – К: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». 2018. С. 51–53.

12. Іванченко С.О., Рущак О.А., Яровий О.В., Дибань А.В. Правило обробки надлишкових даних для обґрунтування захищеності джерел від витоку інформації в рамках імплементації міжнародних стандартів з менеджменту інформаційної безпеки. *Інформаційна безпека України*: збірник тез доповідей науково-технічної конференції, 25–26 квітня 2019 року. К: Київський національний університет імені Тараса Шевченка. 2019. С. 43–44.

13. Яровий О.В., Завгородній В.В. Антенні системи безпілотних літальних апаратів для здійснення моніторингу наземних об'єктів в умовах навмисних завад. *Інформаційно-телекомунікаційні системи і технології та кібербезпека: нові виклики, нові завдання:* тези доповідей учасників науково-практичної конференції, 24–25 листопада 2021 року. К: ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря

Сікорського. 2021. С. 212–213.

14. Яровий О.В., Завгородній В.В. Здійснення моніторингу наземних об’єктів та вибір оптимальної моделі мобільного агента. *Кібербезпека державних інституцій та подолання кризових станів*: матеріали І Міжнародної науково-практичної конференції 26 травня 2022 року. К: ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2022. С. 182–183.

15. Жук О.В., Яровий О.В., Паюн В.А. Аналіз енергетичного потенціалу атмосферних оптичних систем передачі: науковий журнал. *Молодий вчений*. 2018. № 1 (53) січень. С. 422–426.

16. Жук О.В., Байдур О.В., Ткаченко Д.В., Яровий О.В. Явище стохастичного резонансу, як основа для побудови нових пристроїв передачі даних в безпроводових сенсорних мережах: науковий журнал. *Молодий вчений.* 2018. № 2 (54) лютий. С. 19–24.

17. Яровий О.В. Вибір оптимальних моделей безпілотних літальних апаратів та систем управління для виконання задач щодо моніторингу наземних об’єктів: науковий журнал. *Молодий вчений.* 2018. № 5 (57) травень. С. 190–196.

18. Гусинін А.В. Диференціально-ігровий підхід до синтезу алгоритмів керування багаторежимних літальних апаратів. *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. 2012. № 1. С. 40–45.

19. Гусинін В.П. Кероване повітроплавання. К.: Кафедра. 2012. 364 с.

20. Гусинін В.П. Застосування керованого вектора тяги на дирижаблях. *Наукові вісті НАУ*. 2015. № 3. С. 95–102.

21. Moutinho A. Modeling and nonlinear control for airship autonomous flight. *Instituto Superior Tecnico, Technical University of Lisbon*. 2017. P. 55–65.

22. Hygounenc E. Automatic airship control involving backstepping techniques. Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, *Man and Cybernetics, Hammamet. Tunisia.* 2017. P. 12–17.

23. Beji L. Stabilization of a nonlinear underactuated autonomous airship – a combined averaging and backstepping approach Proceedings of the 3rd

International Workshop *Robot Motion and Control*. 2012. P. 223–229.

24. Fukau T., Kanzawa T., Osuka K. Inverse optimal tracking control of an aerial blimp robot. Proceedings of the 5th International Workshop. *Robot Motion and Control*. 2015. P. 193–198.

25. Moutinho A., Azinheira J. Stability and Robustness Analysis of the AURORA Airship Control System using Dynamic Inversion. Proceedings of the IEEE International Conference *Robotics and Automation*. 2015. P. 2265–2270.

26. Ko J., Klein D., Fox D., Haehne D. Gaussian Processes and Reinforcement Learning for Identification and Control of an Autonomous Blimp Proc. of the IEEE Int. Conf. *Robotics and Automation*. 2017. P. 742–747.

27. Fukushima H., Saito R., Matsuno F., Hada Y., Kawabata K., Asama H. Model predictive control of an autonomous blimp with input and output constrains. Proceedings of the IEEE International Conference on Control Applications *Computer Aided Control System Design*. 2016. P. 2184–2189.

28. Liu Y. Control of Autonomous Airship. *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics.* 2009. P. 2457–2462.

29. Kwon J., Kim J., Seo J. Vector field guided auto-landing control of airship with wind disturbance. Proceedings of the 19th World Congress, *Cape Town, South Africa.* 2014. P. 1114–1119.

30. Saiki H., Fukao T., Kohno T. Automatic landing control of outdoor blimp robots. Proceedings of 9th IFAC Symposium on Robot Control. 2009. P. 32–38.

31. Saiki H., Fukao T., Ishimori Y., Kohno T. Takeoff and landing control of outdoor blimp robots. *Japan Society of Mechanical Engineers. Series* C. 2011. Vol.77, № 775. P. 1004–1016.

32. Fatoorehchi H., Adolghasemi H. Improving the differential transform method: A novel technique to obtain the differential transforms of nonlinearities by the Adomian polynomials. *Applied Mathematical Modeling*. 2013. Vol.37, issue 8. P. 6008–6017.

33. El-Zahar E. Applications of Adaptive multi-step differential transform

method to singular perturbation problems arising in science and engineering. Appl. Math. Inf. Sci. 2015. Vol. 9, № 1. P. 223–232.

34. Gusynin V., Gusynin A., Tachinina H. The use of differential transformations for solving non-linear boundary value problems. *Proceedings of NAU*. 2016. №4 (69). P. 45–55.

35. Ebald A. On a general formula for computing the one-dimensional differential transform of nonlinear functions and its application. Proc. of the American Conf. *On Applied Math., Harvard, Cambridge, USA.* 2012. P. 92–97.

36. Гусинін А.В. Синтез алгоритму оптимального керування рухом аеростатичного літального апарату на етапі посадки. *Проблеми інформаційних технологій*. 2013. № 01 (013). С. 53–60.

37. Haas E. Aeronautical channel modeling// IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2012. Vol. 51. № 2. P. 254–264.

38. Беспалько О.В., Кучеренко Ю.Ф., Власік С.М, Закіров З.З., Ткаченко В.І. Інформаційні війни сучасності та застосування мережецентричних систем управління військового призначення. *Системи озброєння і військова техніка*. 2023. № 2 (74). С. 87–93.

39. Liu Feng, Guo Wei-Wei. Research and Design of Task Scheduling Method Based on Grid Computing. International Conference on Smart City and Systems Engineering (ICSCSGridE). Changsha, China. 2017. P. 188–192.

40. Ma T., Shi S., Cao H., Tian W., Wang J. Review on Grid Resource Discovery: Models and Strategies. *IETE Technical Review*. 2012. Vol. 29. P. 213–222.

41. Юла О.В., Бідний О.С., Вакула А.І., Петров О.В., Кравчук О.В. Аналіз підходів до впливу засобами радіоелектронного подавлення на мережецентричну систему управління. *Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки.* 2021. Вип. 1 (7). С. 101–114.

42. Sheikh S., Shahid M., Nagaraju A. A novel dynamic task scheduling strategy for computational grid. International Conference on Intelligent

Communication and Computational Techniques (ICCT). 2017. P. 102–107.

43. Потапов Г.М., Філістєєв Д.А., Приходнюк В.В., Гордєєв А.Ю., Фурман О.А. Функціональні характеристики мережецентричної онтографічної інформаційної системи специфічного призначення. *Телекомунікаційні та інформаційні технології.* 2020. № 3 (68). С. 41–54.

44. Кучеренко Ю.Ф., Власік С.М., Беспалько О.В., Сальник О.В. Аналіз застосування безпілотних літальних апаратів при веденні сучасних війн та основні заходи щодо боротьби з ними. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2023. № 2 (51). С. 38–45.

45. Aron R., Chana I. Grid Scheduling Heuristic Methods: State of the Art. *International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications.* 2014. Vol. 6, P. 466–473.

46. Chauhan P. Decentralized Scheduling Algorithm for DAG Based Tasks on P2P Grid. *Journal of Engineering.* 2014. P. 1–14.

47. Younis M., Yang S., Passow B. A Loosely Coupled Hybrid Meta-Heuristic Algorithm for the Static Independent Task Scheduling Problem in Grid Computing. IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC). 2018. P. 1–8.

48. Ткачук П.П., Сальник Ю.П., Пащук Ю.М., Малата І.В. Система автоматизованого управління польотом і корисним навантаженням тактичних безпілотних літальних апаратів. *Військово-технічний збірник.* №10. 2014. С. 73–77.

49. Подорожняк А.О., Волоцков Є.А., Шевцова О.С. Дослідження системи управління безпілотних літальних апаратів. *Сучасні інформаційні системи.* 2018. Т. 2, № 3. С. 97–101.

50. Walid M., Slaheddine N., Mohamed A., Lamjed B. Modeling and control of a quadrotor UAV. 15th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA), Hammamet, 2014, P. 343–348.

51. Саковський А.А., Науменко С.М., Кравченко С.І., Єфіменко І.М. Особливості застосування безпілотних літальних апаратів органами та

підрозділами поліції: методичні рекомендації. – Київ: Національна академія внутрішніх справ. 2022. 72 с.

52. Радзівілов Г.Д., Фесенко О.Д. Аналіз системи автоматичного управління маршрутом польоту безпілотних літальних апаратів. *Східноєвропейський науковий журнал*. 2017. № 12 (28), Ч. 2. С. 45–48.

53. Зайцев Г.Ф., Радзівілов Г.Д., Градобоєва Н.В. Суперечність між умовами мінімізації середньоквадратичної помилки і квадратичної інтегральної оцінки в стежачих системах з принципом управління по відхиленню. *Проблеми управління інформатики*. 2014. №1. С. 48 –59.

54. Пархомей І.Р., Лемешко А.Д. Рішення рівняння коливань у випадку резонансу опромінюючого радіосигналу і кристалічної структури радіопоглинаючої композитної речовини: міжвідомчий наук.-техн. збірник *«Адаптивні системи автоматичного управління»*. К.: НТУУ «КПІ»: 2011. № 18 (38). С. 89–92.

55. Зайцев Г.Ф., Радзівілов Г.Д. Мінімізація середньоквадратичної помилки стежачих систем за допомогою першої і другої похідних нестаціонарної задаючої дії. *Проблеми управління інформатики.* 2014. № 6. С. 62–72.

56. Зайцев Г.Ф., Булгач В.Л., Радзівілов Г.Д. Моделювання комбінованих стежачих систем при випадковій задаючій дії. *Проблеми управління інформатики.* 2015. № 3. С. 27–31.

57. Kharchenko O. Simulation of the Stochastic Resonance Effecting a Non linear Device. *Global Journal of Researches in Engineering: F Electrical and Electronics Engigineering.* Volume 15 Issue 7, 2015. P. 19–24.

58. Gordon L., Loeb M., Lucyshyn W., Zhou L. The impact of information sharing on cybersecurity underinvestment: *A real options perspective. Journal of Accounting and Public Policy.* 2015. 34 (5). P. 509–519.

59. Akhmetov B., Kydyralina L., Lakhno V., Mohylnyi G., Akhmetova J., Tashimova A. Model for a computer decision support system on mutual investment in the cybersecurity of educational institutions. *International Journal of*

Mechanical Engineering and Technology. 2018. 9 (10). P. 1114–1122.

60. Yevseiev S., Aleksiyev V., Balakireva S., Peleshok Y., Milov O., Petrov O. Development of a methodology for building an information security system in the corporate research and education system in the context of university autonomy. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2019. 3 (9 (99)). P. 49–63.

61. Milov O., Voitko A., Husarova I., Domaskin O., Ivanchenko Y., Ivanchenko I. Development of methodology for modeling the interaction of antagonistic agents in cybersecurity systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2019. 2 (9 (98)). P. 56–66.

62. Gordon L., Loeb M., Zhou L. Investing in Cybersecurity: Insights from the Gordon-Loeb Model. *Journal of Information Security*. 2016. 2 (07). P. 49–59.

63. Gordon L., Loeb M., Lucyshyn W. Sharing information on computer systems security: An economic analysis. *Journal of Accounting and Public Policy.* 2017. 6 (22). P. 461–485.

64. Gordon L., Loeb M. The economics of information security investment. *ACM Transactions on Information and System Security*. 2017. 5 (34). P. 438–457.

65. Gordon L., Loeb M. Budgeting process for information security expenditures. *Communications of the ACM*. 2019. 1 (49). P. 121–125.

66. Böhme R., Nowey T. Economic Security Metrics. *Lecture Notes in Computer Science.* 2018. P. 176–187.

67. Gordo L., Loeb M., Lucyshyn W. Information security expenditures and real options: a wait-and-see approach. *Computer Security Journal.* 2013. 2 (19). P. 1–7.

68. Suby M., Dickson F. The 2015 (ISC) 2 Global Information Security Workforce Study. *A Frost & Sullivan White Paper.* 2015. P. 46.

69. Whitman M. Enemy at the gate. *Communications of the ACM.* 2013. 8 (46). P. 91–95.

70. Shameli-Sendi A., Aghababaei-Barzegar R., Cheriet M. Taxonomy of information security risk assessment (ISRA). *Computers & Security.* 2016. 3 (57). P. 14–30.

71. Derrick Huang C., Hu Q., Behara R. An economic analysis of the optimal information security investment in the case of a risk-averse firm. *International Journal of Production Economics.* 2018. 2 (114). P. 793–804.

72. Bodin L., Gordon L., Loeb M. Evaluating information security investments using the analytic hierarchy process. *Communications of the ACM.* 2015. 48 (2). P. 78–83.

73. Derrick Huang C., Behara R., Hu Q. Chapter 3 Economics of Information Security Investment. *Handbooks in Information Systems.* 2017. P. 53–69.

74. Mamers T. The art and science of information security investments for small enterprises. Tallinn. 2018. P. 109–118.

75. Kanungo S. Portfolio approach to information technology security resource allocation decisions. The Tenth Pacific Asia Conference on Information Systems. 2016. P. 286–299.

76. Kirt T., Kivimaa J. Optimizing IT Security costs by evolutionary algorithms. Conference on Cyber Conflict Proceedings. Tallinn. 2018. P. 145–160.

77. Khouzani M., Malacaria P., Hankin C., Fielder A., Smeraldi F. Efficient Numerical Frameworks for Multi-objective Cyber Security Planning. *Lecture Notes in Computer Science.* 2016. P. 179–197.

78. Panaousis E., Fielder A., Malacaria P., Hankin C., Smeraldi F. Cybersecurity Games and Investments: A Decision Support Approach. *Decision and Game Theory for Security.* 2014. P. 266–286.

79. Zhuo Y., Solak S. Measuring and Optimizing Cybersecurity Investments: A Quantitative Portfolio Approach. Proceedings of the 2014 Industrial and Systems Engineering Research Conference. 2014.

80. Buldas A., Laud P., Priisalu J., Saarepera M., Willemson J. Rational Choice of Security Measures Via Multi-parameter Attack Trees. *Lecture Notes in*

Computer Science. 2016. P. 235–248.

81. Левченко Є.Г., Прус Р.Б., Рабчун Д.І. Умови існування сідлової точки в багаторубіжних системах захисту інформації. *Безпека інформації.* 2017. № 1 (19). С. 70–76.

82. Левченко Є.Г., Демчишин М.В., Рабчун А.О. Математичні моделі економічного менеджменту інформаційної безпеки. *Системні дослідження та інформаційні технології.* 2018. Вип. 4. С. 88–96.

83. Бердников О.М., Щирий А.В. Напрямки побільшування швидкостей передачі лінійних трактів телекомунікаційних транспортних систем. *XI Міжнародна науково-технічна конференція "Проблеми телекомунікацій"*: збірник матеріалів конференції. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2017. С. 75–77.

84. Grynchyshyn T. Methods of digital processing of optical signals basedon the randomization procedure: materials of 8-th science conference CADSM 2015. Lviv. Slavske. 2015. P. 140–143.

85. Grynchyshyn T. Methods of manipulation of signals in optical channels of communication // Materials of science conference TCSET'2014. Lviv. Slavske. 2014. P. 363–366.

86. Гриничишин Т.М., Николайчук Я.М. Розробка диференціальних та бісигнальних методів маніпуляції оптичних сигналів у відкритих лініях зв'язку. *Вісник Технологічного університету*. Хмельницький. 2014. Т. 1, Ч. 3. С. 121–124.

87. Ніколайчук Я.М. Теорія джерел інформації. Тернопіль: ТНЕУ, 2018. 536 с.

88. Корнійчук В.І., Барба І.Б., Дойжа Г.І, Аналіз чутливості приймальних пристроїв ВОСП-СРК: *збірник наукових праць ОНАЗ ім. О.С. Попова.* 2010. № 2. С. 75–78.

89. Bloom S., Korevaar E., ohn Schuster J., Willebrand H. Principles of FSO systems. *Journal of optical networking.* June 2018. Vol. 2. № 6.

90. Gu D., Wang Z. Leader–follower flocking: algorithms and

experiments. *IEEE Trans. Control Syst. Technol*. 2019. Vol. 17, № 5. P. 1211–1219.

91. Kownacki C., Ołdziej D. Fixed-wing UAVs flock control through cohesion and repulsion behaviours combined with a leadership. *Int. J. Adv. Robot. Syst*. 2016. Vol. 13, № 1. P. 36.

92. Olfati-Saber R. Flocking for multi-agent dynamic systems: Algorithms and theory. *IEEE Trans. Autom. Control*. 2016. Vol. 51, № 3. P. 401–420.

93. Shi H., Wang L., Chu L. Flocking of multi-agent systems with a dynamic virtual leader. *Int. J. Control*. 2019. Vol. 82, № 1. P. 43–58.

94. Ivanov D., Kaliaev I., Kapustjan S. Formation task in a group of quadrotors. *Robot Intell. Technol. Appl*. 2015. Vol. 3. P. 183–191.

95. Yang H. et al. Synchronization of multiple 3-DOF helicopters under actuator faults 148 and saturations with prescribed performance. *ISA Trans*. 2018. Vol. 75. P. 118– 126.

96. Gimenez J. et al. Multi-objective control for cooperative payload transport with rotorcraft UAVs. *ISA Trans*. 2018. Vol. 80. P. 491–502.

97. Park C. et al. Formation flight of multiple UAVs using onboard information sharing. *Sensors*. 2015. Vol. 15. P. 17397–17419.

98. Incze M.L. et al. Communication and collaboration of heterogeneous unmanned systems using the joint architecture for Unmanned Systems (JAUS) standards. *IEEE Ocean*. Genova. 2015. P. 1–6.

99. Sun Y. et al. Bionic visual close-range navigation control system for the docking stage of probe-and-drogue autonomous aerial refueling. *Aerosp. Sci. Technol*. 2019. Vol. 91. P. 136–149.

100. Shirani B., Najafi M., Izadi I. Cooperative load transportation using multiple UAVs. *Aerosp. Sci. Technol*. 2019. Vol. 84. P. 158–169.

101. Ahn H.-S. Preliminary Background. Formation Control. Studies in Systems, Decision and Control. Cham: *Springer*. 2020. P. 3–26.

102. Wang Y., He L., Huang C. Adaptive time-varying formation tracking

control of unmanned aerial vehicles with quantized input. *ISA Trans*. 2019. Vol. 85. P. 76– 83.

103. Maza I., Ollero A., Casado E. Classification of Multi-UAV Architectures. Handbook of Unmanned Aerial Vehicles. Dordrecht; Heidelberg; New York; London: *Springer*. 2015. P. 953–972.

104. Корнага Я.І., Герасименко О.Ю., Базака Ю.А., Базалій М.Ю., Мухін О.В. Метод автоматизації тестування розподіленої системи з використанням контрактів. *Sciences of Europe*. 2020. № 55. С. 45–49.

105. Завгородній В.В., Мухін В.Є., Базалій М.Ю., Золотухіна О.А., Ільїн О.Ю. Розробка онтологічної моделі системи дистанційного навчання. *Телекомунікаційні та інформаційні технології.* 2021. № 1 (70). С. 28–41.

106. Mukhin V., Vyshnivskyi V., Kornaga Ya., Herasymenko O., Bazaka Yu., Bazalii M. Study of the functioning of the distributed computer system with a resource control mechanism based on a network-centric approach. 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: *Technology and Applications, IDAACS 2019.* 18–21 September 2019. Metz, France. 2019. P. 100 – 105.

107. Aiswarya K., Praveen K., Amritha P., Sethumadhavan M. Application of Secret Sharing Scheme in Software Watermarking. Information and Communication Technology for Intelligent Systems. *Smart Innovation, Systems and Technologies,* 2020. Vol. 195.

108. Bichsel B., Raychev V., Tsankov P., Vechev M. Statistical deobfuscation of android applications. In Proc. of the 2016 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security (CCS’16), Vienna, Austria. ACM. October 2016. P. 343–355.

109. Bartoli A., Martinelli A., Medvet F., Mercaldo E. Detection of Obfuscation Techniques in Android Applications. 2018. P. 1-9.

110. Bichsel B., Raychev V., Tsankov P., Vechev M. Statistical deobfuscation of android applications. *ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security.* 2016. P. 343–355.

111. Canfora G. Formal Tool for Identifying Mobile Malicious Behaviour. *IEEE Transactions on Software Engineering*. 2019. Vol. 45. P. 1230–1252.

112. Dong S. et al. Understanding Android Obfuscation Techniques: A Large-Scale Investigation in the Wild. Security and Privacy in Communication Networks. SecureComm. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, *Social Informatics and Telecommunications Engineering.* 2018. Vol. 254.

113. Hecht G., Neverov C., Bergel A. Vision. P. alleviating Android developer burden on obfuscation. In Proceedings of the IEEE/ACM 7th International Conference on Mobile Software Engineering and Systems (MOBILESoft '20). *Association for Computing Machinery*. 2020. P. 137–141.

114. Kalantaievska S. Method of integral estimation of channel state in the multiantenna radio communication systems. *Eastern – European Journal of Enterprise Technologies,* 2018. Vol. 5, No. 9 (95). P. 60–76.

115. Меліхов І.В., Базилевич В.М. Захист алгоритмів і даних на стороні клієнта. *Технічні науки та технології*. 2021. № 1 (23). С. 87–95.

116. Muslimov T., Munasypov R. Three-dimensional consensus-based control of autonomous UAV swarm formations. Proceedings of 15th International Conference on Electromechanics and Robotics. *Smart Innovation, Systems and Technologies.* 2021. Vol. 187. P. 69–80.

117. Lee D., Kim S., Suk J. Formation flight of unmanned aerial vehicles using track guidance. *Aerosp. Sci. Technol.* 2018. Vol. 76. P. 412–420.

118. Ai X., Yu J. Flatness-based finite-time leader–follower formation control of multiple quadrotors with external disturbances. *Aerosp. Sci. Technol.* 2019. Vol. 92. P. 20–33.

119. Zhang Q. Modeling, analysis, and control of close formation flight. *University of Toronto.* 2019.

120. Mao X., Zhang H., Wang Y. Flocking of quad-rotor UAVs with fuzzy control. *ISA Trans.* 2018. Vol. 74. P. 185–193.

121. Thien R., Kim Y. Decentralized formation flight via PID and integral

sliding mode control. *Aerosp. Sci. Technol.* 2018. Vol. 81. P. 322–332.

122. Yan M. Consensus-based three-dimensional multi-UAV formation control strategy with high precision Front. *Inf. Technol. Electron. Eng.* 2017. Vol. 18, № 7. P. 968–977.

123. Zhao W., Li R., Zhang H. Finite-time distributed formation tracking control of multi-UAVs with a time-varying reference trajectory. *IMA J. Math. Control Inf.* 2017. Vol. 35, № 4. P. 1297–1318.

124. Zaitsev P., Formal'skii A. Paraglider: mathematical model and control. *Doklady Mathematics.* 2008. Vol. 77, Iss. 3. P. 472–475.

125. Lungu M. Auto-landing of fixed wing unmanned aerial vehicles using the backstepping control. *ISA Trans.* 2019. Vol. 95. P. 194–210.

126. How J., Frazolli E., Chowdhary G. Linear Flight Control Techniques. Handbook of Unmanned Aerial Vehicle. Dordrecht; Heidelberg; New York; London: *Springer*. 2018. P. 529–576.

127. Kownacki C., Ambroziak L. Adaptation Mechanism of Asymmetrical Potential Field Improving Precision of Position Tracking in the Case of Nonholonomic UAVs. *Robotica.* 2019. Vol. 37, № 10. P. 1823–1834.

128. Andrjejew Y., Breslavsky D., Pashchenko S., Tatarinova O. Development the Algorithms of Anthropomorphic Robot's Motion Control by Use of AI Algorithms. 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek). 2020.

ДОДАТОК А.

Акти впровадження наукових досліджень дисертаційної роботи

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор конструкторського бюро
інформаційних систем
КПІ ім. Ігоря Сікорського
_____ Олексій ФІНОГЕНОВ
“ 26 ” 05 2023 р.

АКТ
про використання результатів дисертаційної роботи
Ярового Олександра Володимировича на тему «Моделі, методи та інформаційна технологія управління мобільними агентами на основі мережецентричного підходу з використанням диференціальної гри», поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 Інформаційні технології при розробці інформаційних систем

Комісія у складі: начальник відділу підтримки інформаційних систем навчального процесу Ромашкевич Я.О. – голова комісії; начальник відділу розробки інформаційних систем навчального процесу Максимюк А.В.; начальник відділу організації та проведення навчального процесу Бабіна Т.В. – члени комісії; розглянула матеріали звітів та результати роботи під час розробки та впровадження в 2019-2023 роках інформаційних систем та встановила наступне:

В процесі розробки інформаційних систем впроваджені наступні результати дисертаційної роботи Ярового О.В. «Моделі, методи та інформаційна технологія управління мобільними агентами на основі мережецентричного підходу з використанням диференціальної гри», які отримані ним особисто:

– удосконалено інформаційну технологію управління мобільними агентами в динамічному середовищі з урахуванням мережецентричної організації їх взаємодії. Отримана інформаційна технологія відрізняється від існуючих тим, що вона побудована на основі мережецентричної організації

взаємодії агентів з використанням диференціальної гри для управління ними в критичних умовах, що дозволяє створити ефективну систему мережецентричного управління мобільними агентами;

– здійснено моделювання основних процесів взаємодії мобільних агентів, виконано експериментальне дослідження параметрів та оцінювання ефективності мережецентричного управління мобільними агентами у порівнянні з централізованим підходом. Експериментально доведено, що зі збільшенням кількості вузлових мобільних агентів, ефективність ураження цілі зростає, але досягає достатніх значень (80 % і вище) при 9 % вузлових мобільних агентів від їх загальної кількості і тому перевищувати цей показник не є доцільним. Результати роботи системи управління мобільними агентами були зіставлені з висновками навчання нейронної мережі, яка визначає імовірності ураження цілі із встановленням відносного відхилення розрахунків (3,8 %).

Тестові випробування і практичне застосування інформаційних систем підтвердили коректність та ефективність запропонованих проектних рішень та достовірність відповідних положень дисертаційної роботи.

Голова комісії Яна РОМАШКЕВИЧ

Члени комісії: Альона МАКСИМЮК

Тетяна БАБІНА

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Декан факультету інформатики
та обчислювальної техніки
КПІ ім. Ігоря Сікорського
_____ Ярослав КОРНАГА
«16» ____06____ 2023 р.

АКТ

про впровадження в навчальний процес факультету інформатики та обчислювальної техніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» результатів дисертаційної роботи Ярового Олександра Володимировича «Моделі, методи та інформаційна технологія управління мобільними агентами на основі мережецентричного підходу з використанням диференціальної гри», поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 Інформаційні технології

Ми, що нижче підписалися: професор кафедри інформаційних систем та технологій, д.т.н. проф. Стенін О.А., доцент кафедри інформаційних систем та технологій, к.т.н., доц. Ткач М.М., доцент кафедри інформатики та програмної інженерії, к.т.н., доц. Ліхоузова Т.А. розглянувши матеріали навчально-методичного забезпечення навчальних дисциплін: «Моделювання компонентів інтегрованих інформаційних систем» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти та «Моделювання процесів в інформаційних управляючих системах» другого (магістерського) рівня вищої освіти, встановили, що в навчальному процесі, а також в процесі підготовки бакалаврських і магістерських атестаційних робіт здобувачів вищої використовуються такі наукові результати, отримані Яровим О.В. особисто:

- модель системи передачі даних для забезпечення мережецентричного управління мобільними агентами, яка ґрунтується на оптимізації системи передачі даних з блукаючим центром управління, що дозволяє забезпечити задану ефективність мережецентричного управління;

- математичну модель моніторингу безпеки динамічного середовища мобільних агентів в умовах зростання впливу завадо-факторів, яка базується на зростанні впливу завадо-факторів, що дозволяє створити систему моніторингу динамічного середовища мережецентричного управління мобільними агентами;

- метод мережецентричного управління мобільними агентами з використанням диференціальної гри, який ґрунтується на основі рішення задач оптимізації у вигляді двох гравців, що дозволяє реалізувати ефективне управління в умовах невизначених збурень;

- інформаційну технологію управління мобільними агентами в динамічному середовищі з урахуванням мережецентричної організації їх взаємодії.

Впровадження результатів дисертаційної роботи Ярового О.В. в навчальний процес дозволило підвищити якість підготовки студентів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів вищої освіти спеціальностей 126 «Інформаційні системи та технології» та 121 «Інженерія програмного забезпечення» на факультету інформатики та обчислювальної техніки КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Професор кафедри
інформаційних систем та технологій,
д.т.н., проф. Олександр СТЄНІН

Доцент кафедри
інформаційних систем та технологій,
к.т.н., доц. Михайло ТКАЧ

доцент кафедри
інформатики та програмної інженерії,
к.т н., доц. Тетяна ЛІХОУЗОВА

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри військової підготовки
Національного технічного університету
України "Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського"
к.військ.н., с.н.с.

Володимир ДУБІНІН

«15» 09 2023 р.

АКТ
впровадження результатів дисертаційного дослідження
Ярового Олександра Володимировича на тему "Моделі, методи та інформаційна технологія управління мобільними агентами на основі мережецентричного підходу з використанням диференціальної гри"
на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
зі спеціальності 05.13.06 Інформаційні технології

Комісія у складі:

Голова комісії – Голова предметно-методичної комісії Бойового застосування озброєння військ протиповітряної оборони Сухопутних військ кафедри військової підготовки, кандидат технічних наук, доцент, полковник запасу Акулінін Г.В.;

члени комісії: Голова предметно-методичної комісії Бойового застосування озброєння Повітряних сил кафедри військової підготовки, кандидат військових наук, доцент, полковник у відставці Павлунько М.Я., доцент кафедри військової підготовки, кандидат військових наук, доцент, полковник у відставці Ткаленко О.Є.

засвідчує про те, що результати дисертаційного дослідження здобувача Ярового О.В. на тему "Моделі, методи та інформаційна технологія управління мобільними агентами на основі мережецентричного підходу з використанням диференціальної гри" на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.13.06 Інформаційні технології, впроваджені у навчальний процес кафедри військової підготовки Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського".

Результати дисертаційного дослідження Ярового О.В. були впроваджені у навчальний процес підготовки громадян України, які навчаються за програмою підготовки офіцерів запасу на кафедрі військової підготовки Національного технічного університету України "Київський політехнічний

інститут імені Ігоря Сікорського" за військово-обліковою спеціальністю "Експлуатація та ремонт безпілотних авіаційних комплексів", а саме в розділі П-4 "Військово-технічна і військово-спеціальна підготовка", у змістовному модулі П-4/72 "Безпілотні авіаційні комплекси" впроваджено *метод мережецентричного управління мобільними агентами.*

Впровадження результатів дослідження Ярового О.В. у навчальний процес підготовки громадян України за програмою підготовки офіцерів запасу сприяло підвищенню рівня їх фахової підготовки та формуванню професійних компетентностей в процесі вивчення розділу П-4 "Військово-технічна і військово-спеціальна підготовка" за зазначеною вище військово-обліковою спеціальністю.

Результати, отримані в ході впровадження дисертаційного дослідження Ярового О.В. у навчальний процес кафедри військової підготовки Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", свідчать про ефективність запропонованого *методу мережецентричного управління мобільними агентами* й дозволяють зробити висновок щодо доцільності його впровадження у процесі підготовки громадян України, які навчаються за програмою підготовки офіцерів запасу за військово-обліковою спеціальністю "Експлуатація та ремонт безпілотних авіаційних комплексів".

Голова комісії:
Голова предметно-методичної комісії Бойового застосування озброєння військ протиповітряної оборони Сухопутних військ кафедри військової підготовки, к.т.н., доцент
полковник запасу Гліб АКУЛІНІН

члени комісії:
Голова предметно-методичної комісії Бойового застосування озброєння Повітряних сил кафедри військової підготовки, к.військ.н., доцент
полковник у відставці Микола ПАВЛУНЬКО

доцент кафедри військової підготовки, к.військ.н., доцент
полковник у відставці Олександр ТКАЛЕНКО

Прим №_

ЗАТВЕРДЖУЮ
Заступник начальника університету з навчальної роботи
полковник
Андрій СЛЮСАРЕНКО
_____ 2023

А К Т
впровадження результатів наукового дослідження
здобувача кафедри Інформаційних систем та технологій
Національного технічного університету України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"
Ярового Олександра Володимировича

Комісія у складі:

голови комісії: начальника кафедри комунікаційних технологій та кіберзахисту полковника ЖУКА О.В.;

членів комісії:

заступника начальника науково-методичного центру організації освітньої діяльності полковника ТОРЧЕВСЬКОГО Р.В.;

заступника начальника кафедри комунікаційних технологій та кіберзахисту полковника РОЗУМА І.Ю.;

професора кафедри комунікаційних технологій та кіберзахисту полковника ШЕВЧЕНКА Д.Г.

даним актом засвідчує, що результати дисертації здобувача кафедри Інформаційних систем та технологій Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" Ярового Олександра Володимировича на тему " Моделі, методи та інформаційна технологія управління мобільними агентами на основі мережецентричного підходу з використанням диференціальної гри" використовуються в освітньому процесі кафедри комунікаційних технологій та кіберзахисту Національного університету оборони України при викладанні навчальних дисциплін "Моделювання та прогнозування дій у сфері забезпечення військ (сил)", "Комплекси, системи і засоби військових телекомунікаційних мереж", а саме:

математична модель моніторингу безпеки динамічного середовища мобільних агентів в умовах зростання впливу завадо-факторів, яка базується на зростанні впливу завадо-факторів, що дозволяє створити систему моніторингу динамічного середовища мережецентричного управління мобільними агентами;

метод мережецентричного управління мобільними агентами з використанням диференціальної гри, який ґрунтується на основі рішення

задач оптимізації у вигляді двох гравців, що дозволяє реалізувати ефективне управління в умовах невизначених збурень;

удосконалена інформаційна технологія управління мобільними агентами в динамічному середовищі з урахуванням мережецентричної організації їх взаємодії, яка відрізняється від існуючих тим, що вона побудована на основі мережецентричної організації взаємодії агентів з використанням диференціальної гри для управління ними в критичних умовах, що дозволяє створити ефективну систему мережецентричного управління мобільними агентами.

Отримані в дисертації результати є актуальними для вирішення завдань управління мобільними агентами та підвищення ефективності їх застосування.

Отримані наукові результати використовуються при проведенні занять з навчальних дисциплін:

Моделювання та прогнозування дій у сфері забезпечення військ (сил) – Тема 1: Основи моделювання систем військового призначення. Заняття 1: Загальна характеристика процесів управління; Тема 1: Основи моделювання систем військового призначення. Заняття 2: Основи моделювання систем військового призначення.

Комплекси, системи і засоби військових систем і засобів військових телекомунікаційних мереж – Тема 3: Технології побудови комплексів, систем і засобів військових телекомунікаційних мереж. Заняття 13: Пакетні радіомережі (ПМР) з динамічною топологією.

Голова комісії:

полковник Олександр ЖУК

Член комісії:

полковник Руслан ТОРЧЕВСЬКИЙ

полковник Ігор РОЗУМ

полковник Дмитро ШЕВЧЕНКО

ЗАТВЕРДЖУЮ
Начальник Військового інституту телекомунікацій
та інформатизації імені Героїв Крут
генерал-майор

Віктор ОСТАПЧУК

"01" 11 2023 року

АКТ
про реалізацію наукових досліджень

здобувача кафедри інформаційних систем та технологій
Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" Ярового Олександра Володимировича
за матеріалами дисертаційної роботи на тему "Моделі, методи та інформаційна технологія управління мобільними агентами на основі мережецентричного підходу з використанням диференціальної гри"
за спеціальністю 05.13.06 Інформаційні технології

Комісія у складі:

голови комісії – заступника начальника інституту з наукової роботи, кандидата технічних наук, професора, полковника РАДЗІВІЛОВА Г.Д. та членів комісії – начальника кафедри спеціальних інформаційних систем та робототехнічних комплексів факультету бойового застосування систем управління та зв'язку, кандидата технічних наук, полковника ПАНЧЕНКА І.В., доцента кафедри спеціальних інформаційних систем та робототехнічних комплексів факультету бойового застосування систем управління та зв'язку, кандидата технічних наук, підполковника ВОСКОЛОВИЧА О.І. у період з 25 жовтня 2023 року по 01 листопада 2023 року вивчила основні положення, які розроблені особисто Яровим Олександром Володимировичем та встановила, що результати наукових досліджень Ярового О.В. реалізовані в навчальному процесі Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут у вигляді:

1. В навчальній дисципліні "Бойове застосування безпілотних авіаційних комплексів ретрансляторів" по темі "Системи автоматичного керування безпілотними літальними апаратами" були реалізовані наступні наукові результати:

застосовано модель системи передачі даних для забезпечення мережецентричного управління мобільними агентами, яка ґрунтується на оптимізації системи передачі даних з блукаючим центром управління, що дозволяє забезпечити задану ефективність мережецентричного управління і передбачає автоматизацію створення системи передачі даних та можливість

встановлення зв'язку з великою кількістю мобільних агентів.

2. У процесі виконання кваліфікаційних робіт застосовано:

математичну модель моніторингу безпеки динамічного середовища мобільних агентів в умовах зростання впливу завадо-факторів, яка базується на зростанні впливу завадо-факторів, що дозволяє створити систему моніторингу динамічного середовища мережецентричного управління мобільними агентами;

метод мережецентричного управління мобільними агентами з використанням диференціальної гри, який ґрунтується на основі рішення задач оптимізації у вигляді двох гравців, що дозволяє реалізувати ефективне управління в умовах невизначених збурень;

удосконалену інформаційну технологію управління мобільними агентами в динамічному середовищі з урахуванням мережецентричної організації їх взаємодії, яка відрізняється від існуючих тим, що вона побудована на основі мережецентричної організації взаємодії агентів з використанням диференціальної гри для управління ними в критичних умовах, що дозволяє створити ефективну систему мережецентричного управління мобільними агентами.

Це дозволило включити в навчальний процес результати останніх досягнень у галузі розробки та впровадження робототехнічних систем повітряного базування, а саме безпілотних літальних апаратів та побудови на основі даних систем високоефективних безпілотних авіаційних комплексів спеціального призначення.

Голова комісії:
Заступник начальника інституту з наукової роботи
кандидат технічних наук, професор

полковник Григорій РАДЗІВІЛОВ

Члени комісії:
Начальник кафедри спеціальних інформаційних систем та робототехнічних комплексів факультету бойового застосування систем управління та зв'язку, кандидат технічних наук

полковник Ігор ПАНЧЕНКО

Доцент кафедри спеціальних інформаційних систем та робототехнічних комплексів факультету бойового застосування систем управління та зв'язку, кандидат технічних наук

підполковник Олексій ВОСКОЛОВИЧ

ДОДАТОК Б.

Список опублікованих праць за темою дисертації

1. Гусинін А.В., Яровий О.В., Антонова-Рафі Ю.В. Оптимізація керування посадкою дирижабля на основі багатоетапного методу диференціальних перетворень. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2017. Вип. 5 (45). С. 12–17.

2. Козловський В.В., Яровий О.В., Сопільняк Д.О. Моделювання характеристик захисних діелектричних покриттів: міжвідомчий науково-технічний збірник. *Адаптивні системи автоматичного управління*. 2017. № 2 (31). С. 31–37.

3. Яровий О.В. Системи управління безпілотними літальними апаратами для здійснення моніторингу наземних об'єктів. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2018. Вип. 3 (49). С. 33–38.

4. Пархомей І.Р., Яровий О.В., Дибань А.В. Модернізація системи тактової синхронізації з метою підвищення швидкодії та динамічної точності: міжвідомчий науково-технічний збірник. *Адаптивні системи автоматичного управління.* 2018. № 1 (32). С. 120–136.

5. Milov O., Yevseiev S., Ivanchenko Y., Milevskyi S., Nesterov O., Puchkov O., Salii A., Tymochko O., Tiurin V., Yarovyi A. Development of the model of the antagonistic agents behavior under a cyber conflict. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729-3774 (Східно-Європейський журнал передових технологій)*. 2019. Т 4, № 9 (100). С. 6–19. (This journal is indexed in Elsevier Scopus).

6. Жук О.В., Дніпровська А.М., Яровий О.В., Рущак О.А. Аналіз ефективності використання атмосферних оптичних систем передачі. *Information Technology and Security*, January-June 2019, Vol. 7, Iss. 1 (12), P. 99–109.

7. Zavgorodnii V., Braykovs'ka N., Yarovyi O., Zavgorodnya A, Liskin V., Mukhin O. The Method of Restoring Parameters of Mobile Agents in a Unified

Dynamic Environment Considering Similarity Coefficients. *International Journal of Computer Network and Information Security* (IJCNIS). 2023. Vol.15, № 4. P. 25–35. (This journal is indexed in Elsevier Scopus).

8. Яровий О.В., Завгородній В.В. Розробка системи управління мобільними агентами. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. Вип. 3 (98). 2023. Херсон. С. 29–36.

9. Яровий О.В., Завгородній В.В. Розробка структурної схеми управління мобільними агентами. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2023. Т. 34 (73). № 4. С. 124–128.

10. Gusynin A., Yarovoy O., Antonova-Rafi Ju., Khudetskyy I. Synthesis of optimal multi-step control algorithms by UAVs based on differential-and-game approach. 2017 IEEE 4th International Conference *"Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD)"*, October 17–19, 2017, Kyiv, Ukraine, P. 100–103. (This conference is indexed in Elsevier Scopus).

11. Яровий О.В., Пархомей І.Р. Енергетичний потенціал атмосферних оптичних систем передачі: тези доповідей XII Міжнародної науково-технічної конференції «*Проблеми телекомунікацій*», 16–20 квітня 2018 року. – К: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». 2018. С. 51–53.

12. Іванченко С.О., Рущак О.А., Яровий О.В., Дибань А.В. Правило обробки надлишкових даних для обґрунтування захищеності джерел від витоку інформації в рамках імплементації міжнародних стандартів з менеджменту інформаційної безпеки. *Інформаційна безпека України*: збірник тез доповідей науково-технічної конференції, 25–26 квітня 2019 року. К: Київський національний університет імені Тараса Шевченка. 2019. С. 43–44.

13. Яровий О.В., Завгородній В.В. Антенні системи безпілотних літальних апаратів для здійснення моніторингу наземних об'єктів в умовах навмисних завад. *Інформаційно-телекомунікаційні системи і технології та кібербезпека: нові виклики, нові завдання:* тези доповідей учасників науково-

практичної конференції, 24–25 листопада 2021 року. К: ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2021. С. 212–213.

14. Яровий О.В., Завгородній В.В. Здійснення моніторингу наземних об’єктів та вибір оптимальної моделі мобільного агента. *Кібербезпека державних інституцій та подолання кризових станів*: матеріали І Міжнародної науково-практичної конференції 26 травня 2022 року. К: ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2022. С. 182–183.

Відомості про апробацію результатів дисертації

1. 2017 IEEE 4th International Conference “Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD)” (Kyiv, Ukraine, October 17–19, 2017). (This conference is indexed in Elsevier Scopus); форма участі – очна.

2. XII Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми телекомунікацій» (Київ, Україна, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 16–20 квітня 2018 року); форма участі – очна.

3. Науково-технічна конференція «Інформаційна безпека України» (Київ, Україна, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 25–26 квітня 2019 року); форма участі – очна.

4. Науково-практична конференція «Інформаційно-телекомунікаційні системи і технології та кібербезпека: нові виклики, нові завдання» (Київ, Україна, ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 24–25 листопада 2021 року); форма участі – очна.

5. І Міжнародна науково-практична конференція «Кібербезпека державних інституцій та подолання кризових станів» (Київ, Україна, ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 26 травня 2022 року); форма участі – очна.