

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ТЕХНОЛОГІЙ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ШЕЛУХА ОЛЕКСІЙ ОЛЕГОВИЧ

УДК 004.9:681.5

ДИСЕРТАЦІЯ
КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ
ПРИ ВІДЕОСУПРОВОДЖЕННІ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ

05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Технічні науки

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.

О.О. Шелуха

Науковий керівник

Квасніков Володимир Павлович,
Заслужений метролог України
доктор технічних наук, професор

Київ – 2021

АНОТАЦІЯ

Шелуха О. О. Комп'ютеризована система обробки інформації при відеосупроводженні рухомих об'єктів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.13.05 «Комп'ютерні системи та компоненти». – Національний авіаційний університет. – Державний університет інфраструктури та технологій, Київ, 2021.

Розробка комп'ютеризованої системи обробки інформації при відеосупроводженні рухомих об'єктів вимагає створення високоефективних комп'ютеризованих систем шляхом розробки нових та вдосконалення існуючих методів та моделей обробки інформації:

- визначення завдань комп'ютеризованих засобів в системах відеосупроводження рухомих об'єктів, стан їх вирішення;
- розробки моделей системи траєкторного стеження та методів опрацювання інформації, які дозволять оптимізувати процеси отримання, обробки та збереження даних для відеоспостереження та супроводу рухомих об'єктів, а також дозволять працювати в автоматизованому режимі системі відеосупроводження рухомих об'єктів, що використовуються на базі мобільних комплексів;
- вдосконалити метод керування комп'ютеризованою системою обробки інформації при відеосупроводженні, що забезпечить можливість визначення цілей, набору дій та прийняття оптимального рішення оператором мобільного комплексу;
- розробити методику застосування комп'ютеризованої інформаційно-виміральної системи відеосупроводження рухомих об'єктів оператором мобільного комплексу.

У дисертаційній роботі отримано такі нові наукові результати:

1. Вперше розроблено комп'ютеризовану систему обробки інформації для систем відеосупроводження на базі мобільних комплексів, яка на відміну від

раніше відомих, дозволяє проводити супровід рухомих об'єктів шляхом відмінностей режимів їх рухів, при траєкторному стеженні, та дає можливість підвищити ефективність роботи автоматичних систем траєкторного стеження, стабілізації та наведення в ході відеосупроводження рухомих об'єктів.

2. Отримав подальший розвиток метод обробки даних відеозображення рухомого об'єкту із застосуванням експоненційного згладжування та фільтра Калмана, що використовуються на базі мобільних комплексів, який на відміну від існуючих, дозволяє працювати в автоматичному режимі, що забезпечує підвищення ефективності, швидкодії та точності при вирішенні задач керування.

3. Удосконалено метод керування системою відеосупроводження, який базується на застосуванні багатокритеріальної оптимізації обробки інформації та відрізняється від раніше відомих використанням умовно оптимальних точок в процесі відеоспостереження, а також при аналізі та корегуванні процесу руху платформи в умовах невизначеності.

4. Отримав подальший розвиток метод відеосупроводження рухомих об'єктів, який на відміну від існуючих базується на використанні триосьової системи траєкторного стеження та враховує обертальний рух мобільного комплексу – носія системи відеоспостереження та дозволяє підвищити швидкодію обробки інформації та точність утримання лінії візування.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення системи контролю параметрів відеосупроводження рухомих об'єктів, що забезпечує проведення моделювання та дослідження процесу експлуатації системи в різних умовах, що є основою для реалізації розробленої комп'ютеризованої системи.

2. Розроблено методику керування комп'ютеризованою системою відеоспостереження, що забезпечує автоматизоване відеосупроводження рухомих систем, а також зменшує час наведення на об'єкт спостереження.

3. Розроблено комп'ютеризовану систему обробки даних з елементами інтелектуалізації, що при відеосупроводженні рухомих об'єктів дозволяє

підвищити ефективність керування на 8% та зменшити вплив дестабілізуючих факторів.

4. Запропоновано та відпрацьовано в умовах виробництва структурну схему приладів комп'ютеризованої системи обробки інформації, до складу якої входять: сенсори переміщення, швидкості, напрямку руху об'єктів, в тому числі лінії зв'язку чутливого елемента, нечутливої до наводок від виконавчих механізмів і інших пристроїв на відстані до 1000 м, блоки для синхронного взаємозв'язку приладів у системі, блок зв'язку датчиків швидкості з програмним інженерним комплексом LabView для проектування систем цільового призначення.

5. Розроблено нові програмні моделі, програмно-апаратні інтерфейси та стенди для моделювання та перевірки роботи комп'ютеризованої системи обробки інформації при відеосупроводженні рухомих об'єктів та прогнозування.

Практичні результати дисертаційної роботи апробовано та впроваджено на підприємстві ПАТ «НВО «Київський завод автоматики» та використовуються в навчальному процесі Національного авіаційного університету.

У вступі представлена загальна характеристика роботи, обґрунтовано актуальність проблеми досліджень, показано зв'язок обраного напрямку з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету та задачі дослідження. Викладено основні положення, які виносяться на захист, визначається наукова новизна і практичне значення отриманих результатів, визначено особистий внесок здобувача, наведено дані про апробацію, публікації за темою роботи та впровадження результатів дослідження.

У першому розділі дисертаційної роботи проведено аналіз досліджень в сферах комп'ютеризованих систем управління, автоматизації та інтелектуалізації процесів керування в складних технічних системах та мобільних комплексах, а також ідентифікації параметрів та обробки інформації при аналізі зображення в системах відеоспостереження.

На основі аналізу запропоновано нову, більш ефективну, функціональну схему супроводження рухомих об'єктів. Розроблено класифікацію завдань інтелектуального аналізу даних, а саме: виділено завдання синтезу моделі, завдання відновлення регресії, завдання прогнозування нових значень, завдання аналізу даних за призначенням, завдання кластеризації та завдання визначення взаємозв'язків.

Проведено аналіз методик та принципів обробки інформації в автоматизованих системах; визначено вимоги до систем обробки даних; розроблено класифікацію моделей системи; сформульовано та обґрунтовано науково-технічні задачі дисертаційної роботи та етапи їх виконання.

У другому розділі розроблено методи та моделі ідентифікації параметрів рухомих об'єктів. Розроблено модель технічної системи, яка дозволить ефективно організувати процеси отримання та обробки даних для відеоспостереження, супроводу та наведення при роботі в автоматизованому режимі.

Розроблено метод інтелектуалізації контролю параметрів супроводження рухомих об'єктів. Визначено фактори, які відіграють основну роль при побудові математичних моделей обробки інформації з відеозображення. Запропоновано та описано модель ідентифікації параметрів.

Розглянуто процес управління в комп'ютеризованих системах на базі формальних математичних моделей адаптованих до використання у реальних системах. Формалізовано процеси формування структури комп'ютеризованої системи траєкторного стеження та підходи до побудови моделі спостережуваних рухомих об'єктів, серед яких виділено підхід, що дозволяє оптимально виконувати поставлену задачу супроводження траєкторії рухомого об'єкту.

Запропоновано метод побудови інтелектуалізованих підсистем автоматизованого спостереження та супроводу об'єктів який базується що базується на використанні фільтру Калмана. Визначено фактори, що впливають на точність системи відеосупроводження, основними з яких є:

максимальна кутова швидкість і прискорення зміни напрямку на об'єкт; ширина поля зору відеодатчика й розмір формованого їм зображення; точність визначення координат центру об'єкта методами обробки зображення.

Розроблено функціональну схему комп'ютеризованої системи відеосупроводження, та запропоновано метод обробки даних, що реалізується відповідним алгоритмом.

У третьому розділі розроблено математичну модель прогнозування траєкторії рухомого об'єкта на базі методу експоненційного згладжування та фільтра Калмана. Розроблено граф цілей і завдань для функціонування підсистеми обробки зображення та прийняття рішень системою траєкторного стеження.

Розроблено математичну модель обробки даних про траєкторію спостережуваного рухомого об'єкту з урахуванням послідовності операцій та множини всіх допустимих алгоритмів реалізації процесу функціонування системи. Розроблено алгоритм роботи системи траєкторного стеження за рухомими об'єктами.

Запропоновано метод розрахунку розміру стробу екстраполяції зі зворотнім зв'язком та коефіцієнтами згладжування α та β фільтра Калмана.

Розроблено метод розрахунку оптимального критерію стійкого супроводження та граничного критерію втрати об'єкта. Побудовано граф процесу функціонування системи супроводження рухомих об'єктів між пороговими значеннями.

Запропоновано структурну схему обчислювального пристрою (ОП) комп'ютеризованої системи автоматизованого супроводження об'єктів.

Отримано значення основних показників багатокритеріальної оптимізації обробки інформації для прийняття рішень в системі траєкторного стеження, та запропоновано методи вирішення завдання процесу обробки інформації при відеосупроводженні рухомих об'єктів.

У четвертому розділі приведено результати експериментальних досліджень та імітаційного моделювання роботи комп'ютеризованої системи

відеосупроводження рухомих об'єктів та запропоновано шляхи вдосконалення існуючих систем.

Досліджено параметри роботи системи траєкторного стеження при роботі з гармонійними вхідними сигналами.

Проведено моделювання роботи системи супроводження рухомих об'єктів, з маневром невисокої інтенсивності, та представлено результати моделювання розробленого методу згладжування та екстраполяції траєкторії спостережуваного рухомого об'єкта із застосуванням фільтрації Калмана. Перевага представленого методу полягає в тому, що завдяки використанню запропонованого алгоритму суттєво зменшується динамічна похибка.

Представлено комп'ютерну модель системи траєкторного стеження із застосуванням синтетичних даних в програмному комплексі Construct 2. На основі отриманих результатів моделювання визначено, що середня ефективність розробленої системи відеосупроводження рухомих об'єктів в автоматизованому режимі дозволяє утримувати лінію візування на рухомому об'єкті з більшою на 8% швидкодією.

Розглянуто застосування розробленої комп'ютеризованої системи на реальних системах та стендах.

Запропоновано напрями подальшого розвитку комп'ютеризованої системи відеосупроводження з використанням триосьового підвісу в мобільних комплексах, що працюють в умовах обертального руху (хитавиці, крену). Це дозволить підвищити точність та швидкодію існуючої системи за рахунок стабілізації відеозображення.

В загальних висновках підсумовано основні результати досліджень, проведених у дисертаційній роботі, як теоретичних, так і експериментальних, отриманих в лабораторних умовах.

Ключові слова: комп'ютеризована система, автоматизація, відеосупроводження, мобільний комплекс, ідентифікація параметрів, екстраполяція даних, фільтр Калмана, комп'ютерне моделювання.

ABSTRACT

Shelukha O. Computerized information processing system for video tracking of moving objects. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences (Doctor of Philosophy) in the specialty 05.13.05 "Computer Systems and Components". - National Aviation University. - State University of Infrastructure and Technology, Kyiv, 2021.

The development of a computerized information processing system for video tracking of moving objects requires the creation of highly efficient computerized systems by developing new and improving existing methods and models of information processing:

- determination of tasks of computerized means in systems of video tracking of moving objects, the state of their solution;
- development of models of a trajectory tracking system and information processing methods that will optimize the processes of receiving, processing and storing data for video surveillance and tracking of moving objects, and will also allow the video tracking system of moving objects used on the basis of mobile complexes to work in an automated mode;
- to improve the method of managing a computerized information processing system during video support, which will provide the ability to determine goals, a set of actions and make an optimal decision by the operator of the mobile complex;
- to develop a methodology for using a computerized information-measuring system, video tracking of moving objects by the operator of the mobile complex.

In the dissertation work, the following new scientific results were obtained:

1. For the first time, a computerized information processing system for video tracking systems based on mobile complexes has been developed, which, unlike previously known ones, allows tracking moving objects by means of differences in their modes of movement, during trajectory tracking, and makes it possible to increase the efficiency of automatic systems of trajectory tracking, stabilization and guidance during video tracking of moving objects.

2. The method of processing video image of a moving object with the use of exponential smoothing and the Kalman filter used on the basis of mobile complexes, which, unlike existing ones, allows to work in an automatic mode, which provides an increase in efficiency, productivity and accuracy in solving control problems, has been further developed.

3. The method for managing the video tracking system has been improved, based on the use of multi-criteria optimization of information processing and differs from the previously known use of conditionally optimal points in the video surveillance process, as well as in the analysis and correction of the platform motion process under uncertainty.

4. The method of video tracking of moving objects was further developed, which, in contrast to the existing ones, is based on the use of a three-axis trajectory tracking system and takes into account the rotational movement of the mobile complex - the carrier of the video surveillance system and allows to increase the speed of information processing and the accuracy of keeping the line of sight.

The practical significance of the results obtained.

1. The algorithmic and software support for the parameter control system has been developed, video tracking of moving objects, provides modeling and research of the process of operating the system in various conditions, is the basis for the implementation of the developed computerized system.

2. A methodology for controlling a computerized video surveillance system has been developed, provides automated video tracking of mobile systems, and also reduces the flood time to the object of observation.

3. A computerized data processing system with elements of intellectualization has been developed, which, with video tracking of moving objects, makes it possible to increase the control efficiency by 8% and reduce the influence of destabilizing factors.

4. A structural diagram of the devices of a computerized information processing system has been proposed and worked out in production conditions, which includes: sensors of movement, speed, direction of movement of objects, including a

communication line of a sensitive element, insensitive to interference from actuators and other devices at a distance of up to 1000 m, blocks for the synchronous interconnection of devices in the system, a block for communication of speed sensors with the LabView software engineering complex for the design of targeted systems.

5. New software models, software and hardware interfaces and stands for modeling and testing the operation of a computerized information processing system for video tracking of moving objects and forecasting have been developed.

The practical results of the dissertation work have been tested and implemented at the JSC "NPO" Kiev Automation Plant and are used in the educational process of the National Aviation University.

In the introduction, a general description of the work is presented, the relevance of the research problem is substantiated, the connection of the chosen direction with scientific programs, plans, themes is shown, the goal and objectives of the research are formulated. The main provisions for defense are stated, the scientific novelty and practical significance of the results obtained are determined, the personal contribution of the applicant is determined, data on approbation, publications on the topic of work and the implementation of the research results are given.

The first chapter of the thesis analyzes research in the areas of computerized control systems, automation and intellectualization of control processes in complex technical systems and mobile complexes, as well as identification of parameters and information processing when analyzing images in video surveillance systems.

Based on the analysis, a new, more efficient, functional scheme for tracking moving objects has been proposed. A classification of data mining tasks has been developed, namely: the tasks of model synthesis, the task of restoring regression, the tasks of predicting new values, the tasks of analyzing data for their intended purpose, the task of clustering and the task of determining relationships have been identified.

The analysis of methods and principles of information processing in automated systems was carried out; the requirements for data processing systems are

determined; a classification of system models has been developed; formulated and substantiated scientific and technical tasks of the dissertation work and the stages of their implementation.

In the second section, methods and models for identifying the parameters of moving objects are developed. A model of a technical system has been developed, which will effectively organize the processes of receiving and processing data for video surveillance, tracking and guidance when working in an automated mode.

The method of intellectualization of control of tracking parameters of moving objects has been developed. The factors that play a major role in the construction of mathematical models for processing information from the video image have been determined. A model for the identification of parameters is proposed and described.

The control process in computerized systems based on formal mathematical models adapted for use in real systems is considered. The processes of formation of the structure of a computerized trajectory tracking system and approaches to the construction of a model of observed moving objects are formalized, among which an approach is highlighted that allows to optimally fulfill the task of tracking the trajectory of a moving object.

A method for constructing intellectualized subsystems for automated observation and tracking of objects based on the use of the Kalman filter is proposed. The factors influencing the accuracy of the video tracking system have been determined, the main of which are: maximum angular velocity and acceleration of direction change to the object; the width of the field of view of the video sensors and the size of the image formed by it; the accuracy of determining the coordinates of the center of the object by the methods of image processing.

A functional diagram of a computerized video tracking system has been developed, and a data processing method has been proposed, which is implemented by an appropriate algorithm.

In the third section, a mathematical model for predicting the trajectory of a moving object is developed based on the exponential smoothing method and the Kalman filter. A graph of goals and objectives for the functioning of the image

processing subsystem and decision-making by the trajectory tracking system has been developed.

A mathematical model has been developed for processing data on the trajectory of the observed moving object, taking into account the sequence of operations and the set of all admissible algorithms for the implementation of the system functioning process. An algorithm for the operation of the trajectory tracking system for moving objects has been developed.

A method is proposed for calculating the size of the extrapolation strobe with feedback and the smoothing coefficients α and β of the Kalman filter.

A method for calculating the optimal criterion for stable tracking and the limiting criterion for object loss has been developed. The graph of the process of functioning of the tracking system of moving objects between the threshold values has been built.

A structural diagram of a computing device of a computerized system for automated tracking of objects is proposed.

The values of the main indicators of multicriteria optimization of information processing for making decisions in the trajectory tracking system are obtained, and methods for solving the problem of information processing during video tracking of moving objects are proposed.

The fourth section presents the results of experimental research and simulation of the operation of a computerized video tracking system for moving objects and suggests ways to improve existing systems.

The parameters of the operation of the trajectory tracking system when working with harmonic input signals are investigated.

The modeling of the operation of the tracking system of moving objects, with a low-intensity maneuver, is carried out, and the results of modeling the developed method of smoothing and extrapolation of the trajectory of the observed moving object using Kalman filtering are presented. The advantage of the presented method is that due to the use of the proposed algorithm, the dynamic error is significantly reduced.

A computer model of a trajectory tracking system using synthetic data in the Constuct 2 software package is presented. Based on the simulation results, it was determined that the average efficiency of the developed video tracking system for moving objects in an automated mode allows keeping the line of sight on the object with 8% higher speed.

The application of the developed computerized system on real systems and stands is considered.

The directions of further development of a computerized video tracking system using a three-axle suspension in mobile complexes operating in conditions of rotational motion (pitching, roll) are proposed. This will improve the accuracy and performance of the existing system by stabilizing the video image.

The general conclusions summarize the main results of the research carried out in the dissertation work, both theoretical and experimental, obtained in laboratory conditions.

Key words: computerized system, automation, video support, mobile complex, parameter identification, data extrapolation, Kalman filter, computer simulation.

Список публікацій:

I. В яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Квасников В.П. Система идентификации параметров и восстановления функциональных зависимостей в сложных технических системах / В.П. Квасников, А.О. Шелуха // Вісник Інженерної академії України. –2014. – №3-4. – С. 68–72.

2. Шелуха А.О. Совершенствование структуры идентификации параметров сложных технических систем / А.О. Шелуха // Вісник Інженерної академії України. – 2015. – №2. – С. 173–176.

3. Квасніков В.П. Система захоплення та супроводу об'єктів в динамічних системах / В.П. Квасніков, О.О. Шелуха // Вісник Інженерної академії України. – 2015. – №4. – С. 80–83.

4. Шелуха О.О. Обробка інформації в системах стеження за динамічними об'єктами / О.О. Шелуха / Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості. – 2016. – №1. – С. 87–91.

5. Квасніков В.П. Розробка інформаційної моделі системи відеосупроводження засобами візуального програмування / В.П. Квасніков, О.О. Шелуха // Вісник Інженерної академії України. – 2019. – №1. – С. 34-37.

6. Квасніков В.П. Комп'ютеризована система відеосупроводження на базі мобільного комплексу. / В.П. Квасніков, О.О. Шелуха // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2019. – № 2. – С. 112-117. (Входить до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, РИНЦ).

7. Designing a computerized information processing system to build a movement trajectory of an unmanned aircraft vehicle / Kvasnikov V., Ornatskyi D., Graf M., Shelukha O. – Eastern European Journal of Enterprise Technologies, – №1/9 (109) 2021. – pp. 33-42. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225501> (Входить до міжнародних наукометричних баз Scopus, CrossRef, Index Copernicus, РИНЦ).

II. Які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

8. Шелуха О.О. Візування напрямку та стабілізація у складних технічних системах / О.О. Шелуха // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем: IV Міжнар. наук.-практ. конф., 19-21 травня 2014 р.: тези доп. – Чернігів, 2014. – С.197-199.

9. Шелуха О.О. Інформаційна підсистема підтримки прийняття рішень у складних технічних системах / О.О. Шелуха, В.П. Квасніков, О.Г. Болотній // Проблеми створення, розвитку та застосування високотехнологічних систем спеціального призначення: XX Всеукр. наук.-практ. конф., 28 лист. 2014 р.: тези доп. – Житомир, 2014. – С. 7-8.

10. Шелуха О.О. Блок автоматического сопровождения объектов в сложных технических системах / О.О. Шелуха, В.П. Квасніков // Комп'ютерні технології: інновації, проблеми, рішення I Всеукр. наук.-техн. конф., 17-18 травня 2015 р.: тези доп. – Житомир, 2015. – С. 69-70.

11. Шелуха О.О. Идентификация параметров в сложных технических системах / О.О. Шелуха // Интегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси: VII Міжнар. наук.-практ. конф., 18-19 травня 2015 р.: тези доп. – К., 2015. – С.227-228.

12. Шелуха О.О. Система автоматического захвата и сопровождения наблюдаемого объекта в сложных технических системах. /О.О. Шелуха, П.Л. Ігнатенко // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем: V міжнар. наук.-практ. конф., 19–22 травня 2015 р.: тези доп. – Чернігів, 2015. – С. 217.

13. Шелуха О.О. Идентифікація параметрів в системах спостереження за рухомим об'єктами / О.О. Шелуха, В.П. Квасніков // Метрологія, технічне регулювання та забезпечення якості: V Міжнар. наук.-практ. конф., 8–9 жовтня 2015 р.: тези доп. –Одеса, 2015. – С. 142-143.

14. Шелуха О.О. Система спостереження та обробки відеоданих / О.О. Шелуха, В.П. Квасніков // Інформаційно-комп'ютерні технології 2016: VIII Міжнар. наук.-техн. конф., 22–23 квітня 2016 р.:тези доп. – Житомир, 2016. – С. 131-132.

15. Шелуха О.О. Система спостереження та супроводу на рухомих носіях / О.О. Шелуха, П.Л. Ігнатенко // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем: VI Міжнар. наук.-практ. конф., 26–29 квітня 2016 р.: тези доп. – Чернігів, 2016. – С. 309.

16. Шелуха О.О. Система автоматизованого спостереження рухомих систем / О.О. Шелуха // Интегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси: IX міжнар. наук.-практ. конф., 17-18 травня 2016 р.: тези доп. – К., 2016. – С. 37-38.

17. Шелуха О.О. Особенности проектирования систем обработки информации та прийняття рішень / О.О. Шелуха, А.О. Юрчук // Метрологія, технічне регулювання, якість: досягнення та перспективи: VI Міжнар. наук.-практ. конф., 11-12 жовтня 2016 р.: тези доп.– Одеса, 2016. – С.142-143.

18. Шелуха О.О. Визначення параметрів сегментації при спостереженні рухомих об'єктів / О.О. Шелуха, П.Л. Ігнатенко // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем: VII Міжнар. наук.-практ. конф., 24–27 квітня 2017 р.: тези доп. – Чернігів, 2017. – Т. 2. – С. 150-151.

19. Шелуха О.О. Система відеоспостереження з триосьовим карданним підвісом / О.О. Шелуха // Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси: X Міжнар. наук.-практ. конф. 16-17 травня 2017 р.: тези доп. – К., 2017. – С. 210-211.

20. Шелуха О.О. Побудова графа системи відеосупроводження на основі морфологічного аналізу функціонування системи / О.О. Шелуха // Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси: XII Міжнар. наук.-практ. конф. 21-22 травня 2019 р.: тези доп. – К., 2019. – С. 223-224.

21. Шелуха О.О. Система траєкторного стеження для мобільних комплексів. / О.О. Шелуха // Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси: XIII міжнар. наук.-практ. конф., 19-20 травня 2020 р.: тези доп. – К., 2020. – С. 46-47.

ЗМІСТ

	стор.
АНОТАЦІЯ.....	2
ABSTRACT.....	8
ЗМІСТ.....	17
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ.....	19
ВСТУП.....	21
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД АКТУАЛЬНИХ ЗАДАЧ КЕРУВАННЯ СИСТЕМАМИ ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕННЯ.....	28
1.1. Сучасний стан досліджень систем керування рухомими об'єктами та обробки інформації при відеосупроводженні.....	28
1.2. Класифікація завдань інтелектуального аналізу даних відеоспостереження.....	36
1.3. Аналіз методів та моделей обробки інформації в автоматизованих системах супроводження об'єктів.....	40
1.4. Обґрунтування та постановка наукової задачі.....	43
Висновки до розділу 1.....	45
Список використаних джерел до розділу 1.....	46
РОЗДІЛ 2. ФОРМАЛІЗАЦІЯ ДАНИХ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ В СИСТЕМАХ ВІДЕОСУПРОВОДЖЕННЯ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ.....	54
2.1. Моделювання процесів ідентифікації параметрів в системах стеження за об'єктом.....	54
2.2. Модель процесів управління та прийняття рішень в автоматизованих системах.....	67
2.3. Формування структури системи траєкторного стеження.....	72
2.4. Синтез моделі системи спостереження та супроводження рухомих об'єктів.....	76
2.5. Формалізація методу обробки даних в системах відеосупроводження рухомих об'єктів.....	85
Висновки до розділу 2.....	88

	18
Список використаних джерел до розділу 2.....	89
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА МЕТОДУ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ В КОМП'ЮТЕРИЗОВАНІЙ СИСТЕМІ СУПРОВОДЖЕННЯ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ.....	93
3.1. Функціонально-структурне проектування моделі системи	93
3.2. Синтез математичної моделі системи.....	103
3.3. Багатокритеріальна оптимізація обробки інформації в підсистемі траєкторного стеження.....	106
3.4. Розробка методу визначення оптимальних параметрів у складних технічних системах.....	109
3.5. Комп'ютеризована система автосупроводження об'єктів.....	116
Висновки до розділу 3.....	120
Список використаних джерел до розділу 3.....	120
РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ, АПРОБАЦІЯ ТА ПОДАЛЬШИЙ РОЗВИТОК КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВІДЕОСУПРОВОДЖЕННЯ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ.....	124
4.1. Дослідження параметрів роботи системи траєкторного стеження...	124
4.2. Розробка програмного забезпечення та результати експериментальних досліджень системи відеосупроводження рухомих об'єктів.....	135
4.3. Реалізація комп'ютеризованої системи керування відеосупроводженням рухомих об'єктів.....	140
4.4. Визначення шляхів подальшого розвитку системи траєкторного стеження для підвищення точності та швидкодії.....	144
Висновки до розділу 4.....	154
Список використаних джерел до розділу 4.....	154
ВИСНОВКИ.....	158
ДОДАТКИ.....	160

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ

БП – блок прогнозування

ВД – відеодатчик

МК – мобільний комплекс

ЦР – цифровий регулятор

ЦАП – цифроаналоговий перетворювач

ПШ – приводи швидкості

СП – слідкуючі приводи

РО – рухомий об'єкт

СК – система координат

СТС – складна технічна система

ТрС – система (підсистема) траєкторного стеження

$u, u(t)$ – вхідний сигнал системи

$y, y(t)$ – вихідний сигнал системи

$\eta, \eta(t)$ – неконтрольований випадковий сигнал (завада)

s – вектор параметрів об'єкта

m – вектор параметрів моделі

P – представлення об'єкта на зображенні

X_P, Y_P – координати центру спостережуваного об'єкта в прямокутній СК

N_{X_P}, N_{Y_P} – координати центру об'єкта в пікселях зображення

θ і φ – показання горизонтального та вертикального датчиків кута повороту

θ_P, φ_P – кути напрямку на об'єкт спостереження

x_n – вимірне значення координати РО на n -ому кроці

\hat{x}_n – згладжена координата РО на кроці n

\hat{x}_{n^*} – прогнозована координата РО на крок n на кроці $n - 1$

\hat{x}_n – згладжена зміна системи

α, β – коефіцієнти фільтра Калмана (α, β -фільтр)

$K_{ст}$ – критерій стійкого супроводження

$K_{гр}$ – граничний критерій втрати об'єкта

AdaBoost – Adaptive Boosting (алгоритм машинного навчання)

SIFT – Scale-invariant feature transform (масштабонезалежне перетворення ознак)

Construct 2 – програмне забезпечення для комп'ютерного моделювання

EGO-motion – система виділення рухомих точок на відеозображенні

ВСТУП

Актуальність теми. На сучасному етапі розвитку систем обробки і аналізу інформації збільшуються обсяги застосування комп'ютеризованих систем в усіх областях людської діяльності. Широке впровадження вони отримали в системах стеження, забезпечення безпеки різних об'єктів, передачі, обробки, зберігання відеоінформації, орієнтації та навігації при застосуванні на базі мобільних комплексів.

Особливе місце серед задач комп'ютеризованих систем, що застосовуються на мобільних комплексах посідає процес стеження за навколишнім середовищем та оточуючими рухомими об'єктами, що включає в себе задачі сприйняття, інтерпретації, ідентифікації та функціонального опису руху цих об'єктів для подальшої взаємодії з ними інформаційно-вимірjuвальних підсистем.

Прискорення пошуку та визначення координат рухомих об'єктів вимагають створення бортових систем керування рухом, вдосконалення комп'ютеризованих систем спостереження за наземними, повітряними, чи підводними об'єктами та обробки даних із навігаційних систем, встановлених на мобільних комплексах. Тому важливим є завдання побудови систем, що забезпечать підвищення точності та швидкодії підсистем наведення та стабілізації у рухомих системах. Рішення даного завдання розрізняються за складністю залежно від виду об'єкта, фону і розташування мобільної оптико-електронної комп'ютеризованої системи відеоспостереження.

Теорія проектування програмних систем наведення та супроводження широко розглянута вітчизняними та зарубіжними вченими – Алпатовим Б. О., Беллманом Р., Бесекерським В. А., Болтянським В. Г., Брайсоном А., Булгаковим Б. В., Гонсалесом Р., Гостьовим В. І., Ейкхоффом П., Єськовим Д. І., Костюком В. І., Кузьмінім С. З., Лакотою М. А., Льюнгом Л., Сейджем Е. П., Солодовніковим В. В., Тахою Х. А., Ципкіним Я. З., Чемодановим Б. К. та іншими.

Специфіка та умови експлуатації комп'ютеризованих систем відеоспостереження, а також функціональне призначення мобільних комплексів визначають його конструктивні особливості, складність систем обробки інформації, керування та програмного забезпечення тощо. При цьому важливими є завдання створення та вдосконалення високоефективних технічних і програмних компонентів комп'ютеризованих систем загального та спеціального призначення, а саме: автоматизація реєстрації, відстеження відносного переміщення і визначення параметрів рухомих об'єктів, розташованих в полі зору відеомодуля мобільного комплексу. На сьогодні визначається зростання потреб у розробці систем ідентифікації параметрів оточуючих об'єктів, у створенні алгоритмічного, апаратно-програмного забезпечення та у розробці систем обробки цієї інформації на базі комп'ютеризованих та інформаційно-вимірювальних систем. При цьому підвищення точності та швидкодії є одним із пріоритетних напрямків розвитку в галузі технічних і програмних засобів взаємодії оператора з комп'ютеризованими системами при відеосупроводженні, орієнтації та навігації. Тому розробка методів підвищення швидкодії, автоматизації та інтелектуалізації процесів відстеження відносного переміщення і визначення параметрів об'єктів у полі зору відеомодуля мобільних комплексів представляє собою актуальну науково-технічну задачу, розв'язання якої дозволить підвищити рівень ефективності процесу відеосупроводження рухомих об'єктів комп'ютеризованими системами.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася на кафедрі комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій відповідно до тематичних планів і науково-дослідних робіт Національного авіаційного університету, відповідно до Закону України № 3715-VI "Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні", зокрема за напрямом "Освоєння нових технологій високотехнологічного розвитку транспортної системи, ракетно-космічної галузі, авіа- і суднобудування, озброєння та військової техніки", а

також відповідно до держбюджетної тематики Міністерства освіти і науки України в науково-дослідній роботі № 864-ДБ13 “Теорія та принципи побудови інтелектуальних вимірювальних систем для контролю геометричних параметрів високоточних деталей” (номер держ. реєстрації 0113U000083), де автор був виконавцем підрозділу 3.2 та в науково-дослідній роботі № 125-ДБ17 “Методологія побудови сучасних дистанційних інформаційно-вимірювальних систем” (номер держ. реєстрації 0117U002367), де автор був виконавцем підрозділу 3.4.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є створення високоефективних комп’ютеризованих систем відеосупроводження рухомих об’єктів, шляхом розробки нових та вдосконалення існуючих методів та моделей обробки інформації.

На основі аналізу методів і технічних засобів систем спостереження та супроводу об’єктів, а також вимог до мобільних комплексів, сформульовано наступні науково-технічні задачі дослідження:

1) Провести аналіз існуючих систем відеоспостереження та супроводу рухомих об’єктів, визначити задачі комп’ютеризованих засобів в цих системах та стан їх вирішення, обґрунтувати та сформулювати завдання дослідження.

2) Розробити модель системи траєкторного стеження та метод опрацювання інформації, які дозволять оптимізувати процеси отримання, обробки та збереження даних для відеоспостереження та супроводу рухомих об’єктів і дозволять працювати в автоматизованому режимі системі відеосупроводження рухомих об’єктів, що використовуються на базі мобільного комплексу.

3) Вдосконалити метод керування комп’ютеризованою системою обробки інформації при відеосупроводженні, що забезпечить можливість визначення цілей, набору дій та прийняття оптимального рішення оператором мобільного комплексу.

4) Розробити методику застосування комп’ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи відеосупроводження рухомих об’єктів оператором

мобільного комплексу.

5) Дослідити ефективність роботи розроблених моделей, методів та взаємодії між елементами комп'ютеризованої системи відеосупроводження рухомих об'єктів.

Об'єктом дослідження є процес обробки інформації, що супроводжує підготовку даних для взаємодії оператора з комп'ютеризованими системами відеосупроводження рухомих об'єктів.

Предметом дослідження є моделі, методи і алгоритми аналізу та відображення багатовимірних даних, які спрямовані на обробку інформації програмними та технічними засобами при взаємодії з комп'ютеризованими системами відеосупроводження рухомих об'єктів.

Методи дослідження. У роботі застосовуються методи апроксимації та фільтрації траєкторії для створення математичної моделі спостережуваних рухомих об'єктів. Методи функціонального аналізу, математичної статистики та теорії імовірностей, оптимального керування, теорії графів та систем автоматичного керування для розробки методики взаємодії оператора з комп'ютеризованою системою обробки інформації та оцінки точності роботи системи в прикладних задачах; методи візуального програмування та моделювання – для експериментального дослідження моделі системи відеосупроводження.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в розробці моделей та методів обробки інформації в комп'ютеризованих системах відеосупроводження рухомих об'єктів, а саме:

1. Вперше розроблено комп'ютеризовану систему обробки інформації для систем відеосупроводження на базі мобільних комплексів, яка на відміну від раніше відомих, дозволяє проводити супровід рухомих об'єктів шляхом відмінностей режимів їх рухів, при траєкторному стеженні, та дає можливість підвищити ефективність роботи автоматичних систем траєкторного стеження, стабілізації та наведення в ході відеосупроводження рухомих об'єктів.

2. Отримав подальший розвиток метод обробки даних відеозображення

рухомого об'єкту із застосуванням експоненційного згладжування та фільтра Калмана, що використовуються на базі мобільних комплексів, який на відміну від існуючих, дозволяє працювати в автоматичному режимі, що забезпечує підвищення ефективності, швидкодії та точності при вирішенні задач керування.

3. Удосконалено метод керування системою відеосупроводження, який базується на застосуванні багатокритеріальної оптимізації обробки інформації та відрізняється від раніше відомих використанням умовно оптимальних точок в процесі відеоспостереження, а також при аналізі та корегуванні процесу руху платформи в умовах невизначеності.

4. Отримав подальший розвиток метод відеосупроводження рухомих об'єктів, який на відміну від існуючих базується на використанні триосьової системи траєкторного стеження та враховує обертальний рух мобільного комплексу – носія системи відеоспостереження та дозволяє підвищити швидкодію обробки інформації та точність утримання лінії візування.

Практичне значення одержаних результатів роботи полягає в наступному:

1. Розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення системи контролю параметрів відеосупроводження рухомих об'єктів, що забезпечує проведення моделювання та дослідження процесу експлуатації системи в різних умовах, що є основою для реалізації розробленої комп'ютеризованої системи.

2. Розроблено методику керування комп'ютеризованою системою відеоспостереження, що забезпечує автоматизоване відеосупроводження рухомих систем, а також зменшує час наведення на об'єкт спостереження.

3. Розроблено комп'ютеризовану систему обробки даних з елементами інтелектуалізації, що при відеосупроводженні рухомих об'єктів дозволяє підвищити ефективність керування на 8% та зменшити вплив дестабілізуючих факторів.

4. Запропоновано та відпрацьовано в умовах виробництва структурну схему приладів комп'ютеризованої системи обробки інформації, до складу

якої входять: сенсори переміщення, швидкості, напряму руху об'єктів, в тому числі лінії зв'язку чутливого елемента, нечутливої до наводок від виконавчих механізмів і інших пристроїв на відстані до 1000 м, блоки для синхронного взаємозв'язку приладів у системі, блок зв'язку датчиків швидкості з програмним інженерним комплексом LabView для проектування систем цільового призначення.

5. Розроблено нові програмні моделі, програмно-апаратні інтерфейси та стенди для моделювання та перевірки роботи комп'ютеризованої системи обробки інформації при відеосупроводженні рухомих об'єктів та прогнозування.

Практичні результати дисертаційної роботи апробовано та впроваджено на підприємстві ПАТ «НВО «Київський завод автоматики» та використовуються в навчальному процесі Національного авіаційного університету.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи одержані автором самостійно. Особистий внесок здобувача в роботах, опублікованих в співавторстві: [1] – проведено аналіз систем ідентифікації параметрів у складних технічних системах; [3] – запропоновано методика побудови математичної моделі руху спостережуваного об'єкта; [5] – запропоновано програмну модель системи відеосупроводження рухомих об'єктів; [6] – проведено аналіз роботи програмної моделі системи відеосупроводження та отриманих результатів; [7] – проведено моделювання автоматизованої системи супроводу рухомих об'єктів та запропоновано етапи її роботи.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи пройшли апробацію на наступних конференціях: Міжнародна науково-практична конференція «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси» (Київ, 2015, 2016, 2017, 2019, 2020 рр.); Міжнародна науково-практична конференція «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» (Чернігів, 2014, 2015, 2016, 2017 рр.); Міжнародна науково-практична

конференція "Метрологія, технічне регулювання та забезпечення якості" (Одеса, 2015 р.); Міжнародна науково-практична конференція "Метрологія, технічне регулювання, якість: досягнення та перспективи" (Одеса, 2016 р.); Всеукраїнська науково-практична «Проблеми створення, розвитку та застосування високотехнологічних систем спеціального призначення» (Житомир 2014 р.); Міжнародна науково-технічна конференція «Інформаційно-комп'ютерні технології» (Житомир, 2016 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 21 наукову працю, з них: 7 статей у фахових виданнях України, з яких 2 статті у виданнях, що включено до міжнародних наукометричних баз даних та 14 тез доповідей у збірниках матеріалів наукових конференцій.

Структура і об'єм дисертації. Дисертаційна робота складається із анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків та додатків. Загальний обсяг роботи складає 175 сторінка (з них 159 – основного тексту), 39 рисунків, 1 таблиця, список використаних джерел по розділах становить: розділ 1 – 78 джерел, розділ 2 – 41 джерело, розділ 3 – 37 джерел, розділ 4 – 28 джерел, додатки на 16 сторінках.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД АКТУАЛЬНИХ ЗАДАЧ КЕРУВАННЯ СИСТЕМАМИ ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕННЯ

В розділі проведено аналіз досліджень в сферах комп'ютеризованих систем управління, автоматизації та інтелектуалізації процесів керування в складних технічних системах та мобільних комплексах, а також ідентифікації параметрів та обробки інформації при аналізі зображення в системах відеоспостереження.

На основі аналізу запропоновано нову, більш ефективну, функціональну схему супроводження рухомих об'єктів. Розроблено класифікацію завдань інтелектуального аналізу даних, а саме: виділено завдання синтезу моделі, завдання відновлення регресії, завдання прогнозування нових значень, завдання аналізу даних за призначенням, завдання кластеризації та завдання визначення взаємозв'язків.

Проведено аналіз методик та принципів обробки інформації в автоматизованих системах; визначено вимоги до систем обробки даних; розроблено класифікацію моделей системи; сформульовано та обґрунтовано науково-технічні задачі дисертаційної роботи та етапи їх виконання.

1.1. Сучасний стан досліджень систем керування рухомими об'єктами та обробки інформації при відеосупроводженні

Сучасні рухомі об'єкти характеризуються великими швидкостями та впливом значних перевантажень та неконтрольованих механічних збурень. Тому вимоги до точності і швидкодії засобів та методів вимірювання та обробки даних рухомими системами спостереження стають все вищими.

Однак, на сьогодні досяжна точність обмежується технологічними можливостями наявних засобів, а швидкодія є зовсім недостатньою, оскільки більшість систем є напівавтоматичними [1].

Тому забезпечення підвищених точності та швидкодії підсистем наведення та стабілізації у рухомих системах спостереження є одними з важливіших завдань.

Одним з основних напрямів наукової роботи над зазначеними завданнями є дослідження та створення методів дистанційного вимірювання прецизійними системами, що вимагають неперервної стабілізації та наведення датчиків, розташованих на рухомих платформах. Такі методи дозволятимуть забезпечувати якість, надійність та відмовостійкість комп'ютеризованих систем та систем, а також дозволятимуть оптимізувати процес прийняття рішень за умови невизначеності.

Прискорення пошуку та визначення координат рухомих об'єктів в екстремальних умовах, пов'язаних з лісовими пожежами, гірськими зсувами та обвалами, весняними паводками, аваріями, наслідками терористичних актів; проведення геологічної розвідки при розробці кадастру Землі; спостереження за наземними, повітряними та надводними просторами; уточнення та розробка сучасних морських і річкових навігаційних карт тощо вимагають створення бортових систем керування рухом; створення систем спостереження за наземними, повітряними та надводними просторами із застосуванням навігаційних систем, встановлених на рухомих об'єктах-носіях (наземних рухомих засобах, річкових і морських кораблях, вертольотах, літаках, безпілотних літальних апаратах) [1].

Існуючі оптико-електронні прилади систем спостереження мають невеликі дальності виявлення та локації, причинами яких є недостатня точність, малий діапазон керуючих швидкостей, недостатня завадостійкість та надійність [1]. Всі ці причини обумовлюють необхідність розробки наукових та методологічних основ створення та застосування комп'ютеризованих систем для автоматизованих систем наведення та стабілізації, побудованих на основі рухомих платформ, що забезпечуватимуть: високу точність наведення та стабілізації лінії візування, можливість обробки інформації та управління в умовах невизначеності та дестабілізуючих факторів зовнішнього середовища.

Завдання управління вирішуються шляхом створення комп'ютеризованих систем для систем наведення та систем стабілізації. Теорія проектування програмних систем наведення розглянута вченими Бабаєвим О.О., Булгаковим Б.В.; теорія лінійних і нелінійних систем наведення розглядаються Костюком В.І., Вороновим О.О., Солодовніковим В.В., Чемодановим Б.К., Лакотой М.О.; теорія цифрових слідкуючих приводів широко описується в роботах Бесекерського В.А., Алпатова Б.О. Кузьміна С.З., Бакути П.А. теорія оптимальних систем управління розкрита в роботах Белмана Р., Брайсона А., Болтянського В.Г., Гостьового В.І., Єськова Д.І.; Сейджа Е.П.; теорія ідентифікації розкрита Гонсалесом Р., Льюнгом Л., Ейкхоффом П., Ципкіним Я.З., Тахою Х. та інших.

В Україні займаються розробками у галузі створення елементів і систем керування інерційними системами рухомих об'єктів наступні організації: публічне акціонерне товариство «Науково-виробничий комплекс «Київський завод автоматики», м. Київ; публічне акціонерне товариство «Чернігівський завод радіоприладів», м. Чернігів; державне підприємство "Науково-дослідний інститут "Квант", м. Київ, «Інфоком ЛТД», м. Запоріжжя.

За кордоном розробкою технічних систем із застосуванням комп'ютеризованих систем спостереження на рухомих платформах займаються фірми США, Франції, Великобританії, Німеччини, Нідерландів, Швеції, Росії, КНР, Кореї та Японії (такі, як International Laser Systems, Northrop, Aeronitronix Ford, Sounder Associates, CBS Zabs, Perhin-Elmer, Resalab, Martin-Marietta, Rochwell-International, RCA, Texas Instruments, Naval Air Development, IBM, Filco-Ford, Thomson CSF, Bell, Google, Intel Corp, Lyft, DelphiAutomotive, Tesla, Mobileye N.V., Samsung тощо).

Дослідження роботи складних систем почалося з завдання багатокритеріальної оптимізації, вперше воно було поставлене Парето в 1896 р. при дослідженні економічних задач. Однак більш глибоко завданнями багатокритеріальної оптимізації почали займатися значно пізніше, з 60-70-х років нашого століття, і вже не тільки в області економіки, але і в області

дослідження технічних систем. Однією з перших була робота Л. Заде, далі почався потік робіт в цій галузі [2-12, та багато інших]. Особливо інтенсивно розвивалися роботи по вирішенню таких завдань методами лінійного програмування для випадку адитивних критеріїв [6, 13-19]; далі - методи послідовного аналізу [20, 21], в тому числі без покрокового конструювання варіантів системи [4, 22-24]. Серед авторів слід виділити таких як Бусленко М.П., Вентцель Е.С., Волкович В.Л., Жук К.Д., Зіатдінов Ю.К., Кузьмін С.З., Ларичев О.І., Михалевич В.С., Моїсєєв М.М., Попов І.О., Растрігін Л.А., Шеннон К. тощо, ці автори внесли значний внесок в розвиток проектування, аналізу та обробки даних в технічних системах. У роботах останнього часу, особливо, що стосується дослідження і проектування СТС, розглядаються завдання дискретної оптимізації з урахуванням наявності неадитивних критеріїв [25, 26].

Структура комп'ютеризованої системи обробки інформації стабілізації відеозображення передбачає два модулі: глобальний модуль моніторингу руху і модуль технічного діагностування та компенсації руху. Ідеальна корекція руху потребує точної оцінки глобального руху.

Вчені розробили [48-70] багато методів, які мають на меті точно оцінити глобальний рух на відеозображенні. У [55] представлено комп'ютеризовану систему, що включає метод оцінки глобального руху, за рахунок обчислення руху чотирьох суб-зображень, розташованих у кутах зображення. Цей метод виявився ефективним і точним, але він має обмежену придатність через припущення, що об'єкти переднього плану більш ймовірно розташовані в центрі зображення і, отже, менш схильні до обрізання цих чотирьох локальних зображень в кутах. У [68] авторами запропоновано комп'ютеризовану систему, що базується на узгодженні кругових блоків, що дозволяє оцінити локальний рух. Параметри глобального руху генеруються повторним найменшим квадратом. У [50] глобальний рух оцінюється методом вилучення та відстеження кутових особливостей. Однак, ці функції не є надійними коли присутні такі трансформації зображення, як масштабування і обертання. Отже,

масштабонезалежне перетворення ознак (Scale-invariant feature transform (SIFT)) [60], що вважається інваріантним до масштабування зображення та обертання, широко застосовується в новітніх методах оцінки глобального руху [49]. У роботі [62] введено SIFT, засновано на підході до фільтрування частинок. Автори використовували фільтр частинок для точної оцінки небажаного руху камери.

Для відокремлення корисного сигналу руху від шуму використовуються кілька методів, таких як векторна інтеграція руху [54], згладжування позиції кадру [71], Гауссова фільтрація [56] та фільтрація Калмана [55]. У багатьох системах відеостабілізації параметри руху визначаються фільтрацією Калмана [55]. Але виконання цього алгоритму на всьому кадрі є неефективним, тому що фільтрація Калмана не в змозі обробляти нелінійні моделі і негауссові шуми. У [70] автори пропонують комбінований метод між фільтрами частинок і алгоритмом SIFT [65] для оцінки параметрів глобального руху. Автори стверджують, що цей алгоритм є дуже ефективним, оскільки процес генерації густини пропозицій за допомогою алгоритму SIFT значно зменшує кількість непотрібних частинок (зразків для оцінки руху). Недоліком зазначеного методу є перешкоди переднього плану, тобто неточність оцінки глобального руху камери, що виникає внаслідок переміщення об'єкта переднього плану. Відомо, що використання фільтра часток потребує додаткового обчислювального навантаження для обчислення руху і корекції для кожної частинки, проте він не може відфільтровувати аномальний викид.

Щодо комп'ютеризованої системи виявлення і відстеження рухомих об'єктів в процесі відеоспостереження у літературі також виконані відповідні роботи. Проте вони переважно вирішують сценарії для стаціонарних систем [66]. Як було зазначено вище, останнім часом зростає інтерес до вивчення руху з аерофотозйомки [63]. Більшість виокремлених робіт використовують інформацію, отриману від відеопотоку, для таких задач як забезпечення роботи інформаційних систем відстеження і виявлення рухомих об'єктів [57], та для підвищення якості, надійності та продуктивності виявлення

стаціонарних об'єктів [61]. У роботі [58] запропоновано метод оцінки EGO-motion та методи класифікації заднього / переднього плану. Авторами було розроблено модель автоматизованої системи, що орієнтується на вектори руху, отримані за допомогою алгоритму SURF, забезпечує виділення ключових точок та їх відповідності між кадрами. Модель має певні недоліки, викликані тим, що вибрані за алгоритмом точки об'єкта можуть бути втрачені. Як результат, модель, побудована на основі векторів руху об'єкта, може не отримати переміщення об'єкта. В [67] автори пропонують модель руху фону, обчислюючи оптичний потік між двома сусідніми кадрами, щоб отримати інформацію про рух для кожного пікселя. У [52] автори використовували гістограму напрямлених градієнтів, гістограму напрямлених оптичних потоків та функції Хаара для класифікації сегментації руху на такі: людина серед інших об'єктів, або транспортні засоби серед інших об'єктів. У [61] Рудол П. та Дохерти П. застосували комп'ютеризовану систему виявлення нерухомих та рухомих людей на теплових зображеннях, використовуючи функції Хаара з AdaBoost (адаптивного машинного навчання). Але виявлення дійсне лише тоді, коли зображення людини виявляється в ряді послідовних кадрів. Система стеження «СОСОА» з [48] є тріступінчастою системою. Вона здатна виконувати компенсацію руху, виявлення рухомих об'єктів і відстеження на аерофотознімках. У цій роботі компенсація руху досягається за допомогою прямого реєстрації кадру до кадру, за яким йде алгоритм виявлення об'єкта, який спирається на диференціювання кадру і моделювання фону. Нарешті, відслідковуються рухомі краплі, доки об'єкти залишаються в полі зору повітряної камери. Підхід виявлення, представлений у [59], також ґрунтується на припущенні, що область потенційного виявлення повинна бути присутня у ряді послідовних відеокadrів. По-перше, траєкторія потенційної людини будується шляхом видобування ключових точок (points of interest) та їх узгодження (порівняння), в цьому випадку образ потенційної особи (potential person signature), пов'язаний з цією траєкторією, класифікується з використанням стандартного шаблону. В [69] автори запропонували підхід

виявлення рухомих апаратів, використовуючи Байєсовську систему для оцінки оптичного потоку. Але цей метод не досяг хороших показників за умови вібрації камери та шумових перешкод.

В [72] автори представили систему відеоспостереження на базі безпілотного повітряного судна для виявлення рухомих і статичних транспортних засобів. Для переміщення транспортних засобів виділена і узгоджена ключова точка (SIFT і Канада-Лукас-Томасі (КЛТ)) класифікується за трьома категоріями: фон, переміщення транспортних засобів з прямим напрямком і переміщення транспортних засобів з зворотним напрямком. Для статичних транспортних засобів перш за все визначається дорожній регіон (зона дороги) методом, що базується на алгоритмі виявлення країв.

Система відстеження багатьох гіпотез Ф. Даума [53] не є хорошим вибором для відстеження переміщення цілей на аерофотознімках, оскільки багато об'єктів можуть знаходитись близько один до одного і генерувати занадто багато гіпотез об'єднання даних. Останнім часом для радіолокаційних пристроїв був введений новий клас фільтрів, що називається щільністю гіпотези ймовірностей [51], та також може використовуватись для відеовідстеження.

Всі ці системи вирішують проблему виявлення рухомих об'єктів після етапу стабілізації. У роботі [64] представлено систему для стабілізації відео і виявлення рухомих об'єктів в аерофотозйомці з гібридизацією (поєднанням) цих двох процесів. В ній проблема визначається, як розгляд конкретної точки пікселя. Значення пікселів змінюється з плином часу без певного шаблону в аерофотознімку, оскільки фон постійно змінюється.

Специфіка та умови експлуатації, а також функціональне призначення мобільних комплексів визначають його конструктивні особливості, складність системи керування, масогабаритні характеристики і склад спеціального обладнання тощо. При цьому важливим завданням є автоматизація реєстрації, відстеження відносного переміщення і визначення параметрів рухомих об'єктів, розташованих в полі зору відеомодуля МК, що зазвичай виконується

в ручному режимі. Рішення даного завдання істотно розрізняються за складністю залежно від виду об'єкта, фону і розташування мобільної оптико-електронної системи. Звідси виникає об'єктивна необхідність у створенні комп'ютеризованої системи, що буде забезпечувати автоматизовану обробку цієї інформації.

На основі проведеного аналізу запропоновано спрощену функціональну схему супроводження рухомих об'єктів (рис. 1.1).

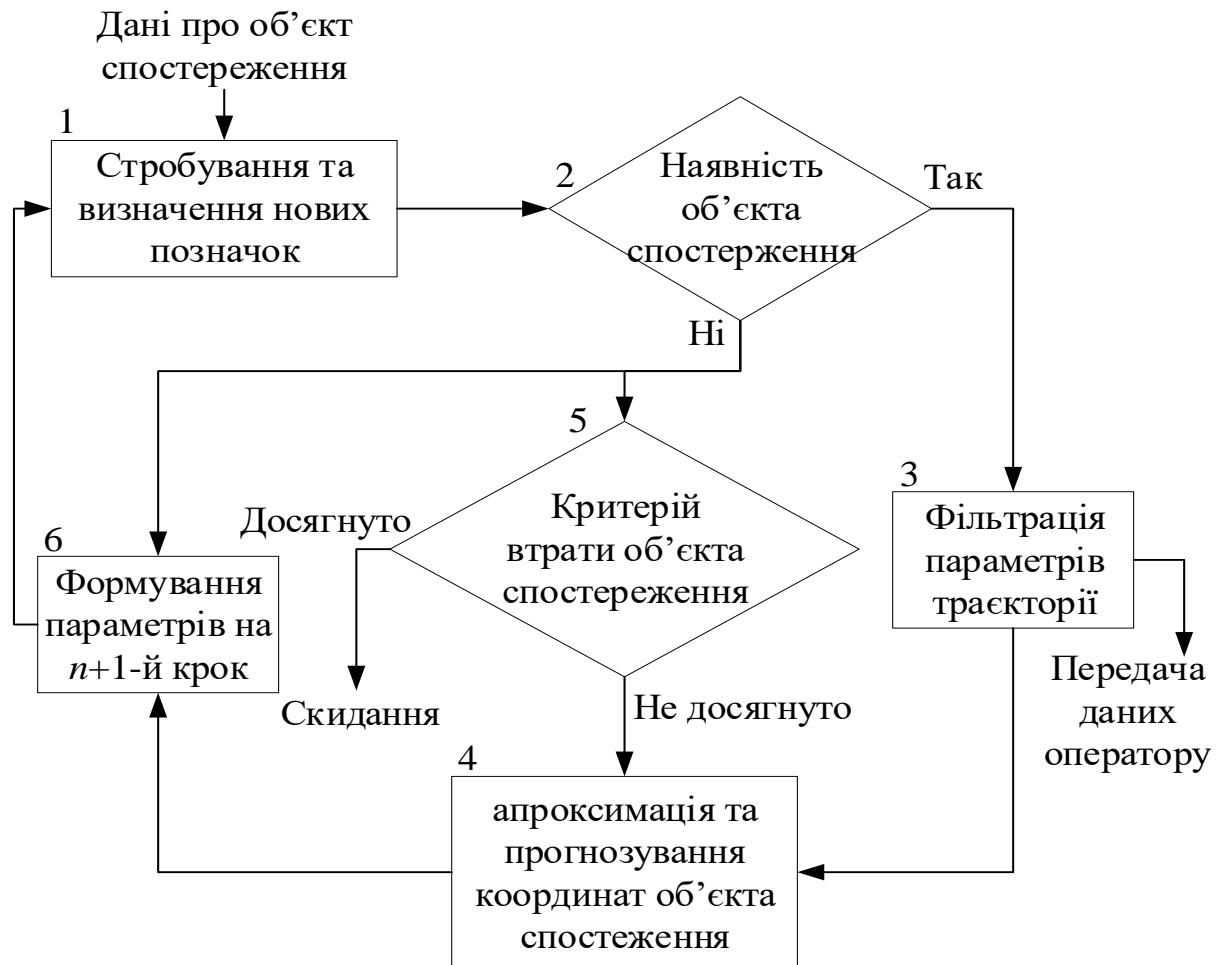


Рис 1.1 – Структурна функціональна схема відеосупроводження рухомих об'єктів

В блоці 1 вирішується задача вибору та ідентифікації координат об'єкта спостереження. В блоці 2 визначається, чи виявлено об'єкт спостереження на зображенні. Якщо так – дані передаються на блок 3, якщо ні – в блок 5

В блоці 3 вирішується задача фільтрації параметрів траєкторії у відповідності до алгоритмів супроводження висвітлених вище. Результати фільтрації передаються оператору, та до блоку 4, в якому виконуються операції апроксимації та прогнозування координат об'єкта спостереження для визначення параметрів стробування (блок 6) на наступний крок (1).

В блоці 5 реалізується алгоритм перевірки критерію втрати об'єкта спостереження при відсутності котрого на певному кроці нової позначки для продовження траєкторії відстеження. При виконанні критерію – формується сигнал зриву супроводження та виконується скидання попередніх даних про траєкторію рухомого об'єкта. Якщо критерій не виконується – то в якості координат нової позначки використовуються екстрапольовані, та виконується новий цикл обрахунків для продовження траєкторії спостережуваного об'єкта.

В блоці 6 вирішується задача формування параметрів строба на наступний, $n+1$ -й крок. Координати центра строба надходять з блоку 4. При обрахунках розмірів стробу мають використовуватися точнісні характеристики вимірюваних та екстрапольованих координат, а також інформація про відсутність позначок в стробі на попередньому кроці.

1.2. Класифікація завдань інтелектуального аналізу даних відеоспостереження

Практична цінність автоматизації інтелектуальної діяльності вимірюється тією допомогою, яку інтелектуальна система може надати в ході прийняття рішень. Разом з тим, будь яке рішення спирається на числове обґрунтування, неможливе без глибокого аналізу предметної області. Об'єктом аналізу завжди є моделі досліджуваних явищ. Модель включає в себе лише найбільш важливі характеристики об'єкта дослідження та встановлює взаємозалежності між ними. Відповідно аналіз не можливий без створення моделі, таким чином синтез адекватної моделі об'єкта дослідження є першим кроком завдання аналізу.

Слід відмітити, що рішення прийняте в результаті аналізу вихідної моделі зазвичай направлено на її модифікацію чи на побудову іншої моделі. Отже, послідовність вирішення трьох основних задач штучного інтелекту (синтез, аналіз та прийняття рішень (рис. 1.2), може представляти собою замкнений цикл.

Подальша класифікація присвячена детальному розгляду задачі синтезу моделі. Розв'язок цієї задачі включає в себе дві складові:

- Структурний синтез, в результаті якого формується множина властивостей об'єкту, що враховується у моделі, а також встановлюється загальна структура внутрішніх закономірностей;

- Параметричний синтез – налаштування параметрів моделі, в процесі якого й виникає відповідність побудованої моделі реальному об'єкту.

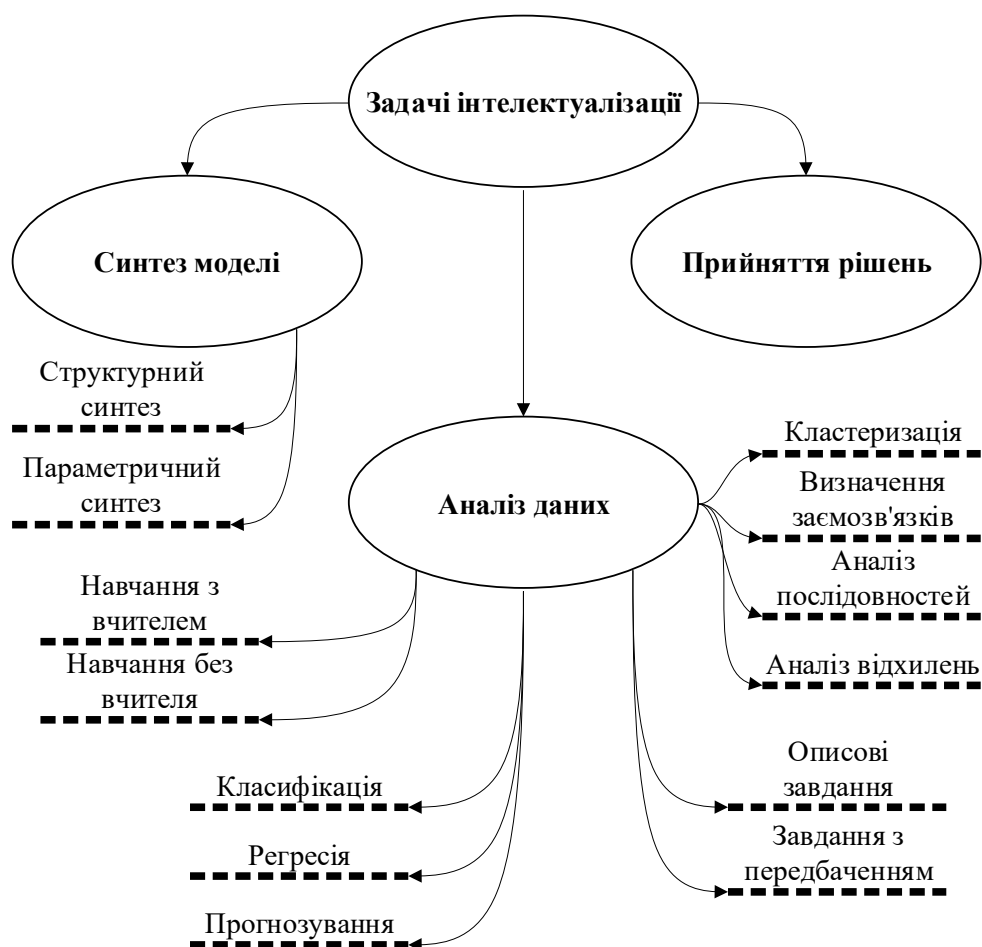


Рис. 1.2. – Задачі інтелектуалізації технічних систем

В ході проведення інтелектуального аналізу даних проводиться дослідження великої кількості об'єктів (або варіантів). У більшості випадків його можна представити у вигляді таблиці, кожен рядок якої відповідає одному з варіантів, а в стовпці містять значення параметрів, що цей об'єкт (варіант) характеризують. Залежна змінна – параметр, значення якого розглядаємо як залежне від інших параметрів (незалежних змінних). Власне цю залежність і необхідно визначити, використовуючи методи інтелектуального аналізу даних.

Розглянемо основні завдання інтелектуального аналізу даних [28].

Завдання класифікації полягає в тому, що для кожного варіанта визначається категорія або клас, до якого він належить. Необхідно відзначити, що для вирішення завдання необхідно, щоб множина класів була відомою заздалегідь, була кінцевою та рахунковою.

Завдання регресії багато в чому схоже з завданням класифікації, але в ході його вирішення проводиться пошук шаблонів для визначення числового значення. Іншими словами, в цьому випадку параметр, що передбачається, є числом з безперервного діапазону.

Окремо виділяється завдання прогнозування нових значень на підставі наявних значень числової послідовності (або декількох послідовностей, між значеннями в яких спостерігається кореляція). При цьому можуть враховуватися наявні тенденції (тренди), сезонність, інші чинники.

За способом вирішення завдання інтелектуального аналізу можна розділити на два класи: навчання з вчителем та навчання без вчителя. У першому випадку потрібно навчальний набір даних, на якому створюється і навчається модель інтелектуального аналізу даних. Готова модель тестується і згодом використовується для передбачення значень в нових наборах даних. Іноді в цьому ж випадку говорять про керовані алгоритми інтелектуального аналізу. Завдання класифікації і регресії відносяться саме до цього типу.

У другому випадку метою є виявлення закономірностей наявних в існуючому наборі даних. При цьому навчальної вибірки не потрібно. Як

приклад можна привести завдання аналізу споживчого кошика, коли в ході дослідження виявляються товари, що найчастіше купуються разом. До цього ж класу належить задача кластеризації.

Також можна говорити про класифікацію завдань інтелектуального аналізу даних за призначенням, відповідно до якої, вони діляться на описові і з передбаченням. Мета розв'язування описових завдань – краще зрозуміти досліджувані дані, виявити наявні в них закономірності, навіть якщо в інших наборах даних вони зустрічатися не будуть. Для завдань з передбаченням характерно те, що в ході їх вирішення на підставі набору даних з відомими результатами будується модель для передбачення нових значень.

Завдання кластеризації (сегментації) - полягає в розподілі множини об'єктів на групи (кластери) схожих за параметрами. При цьому, на відміну від класифікації, число кластерів та їх характеристики можуть бути заздалегідь невідомі і визначатися в ході побудови кластерів, виходячи зі ступеня близькості об'єднуються об'єктів за сукупністю параметрів. Кластеризація відноситься до завдань навчання без вчителя (або "некерованим" завданням).

Завдання визначення взаємозв'язків (завдання пошуку асоціативних правил) полягає у визначенні наборів об'єктів, що часто зустрічаються серед множини подібних наборів. Дане завдання також відноситься до класу "навчання без вчителя".

Аналіз послідовностей або сіквенціальний аналіз, це виявлення закономірностей в послідовності подій. Подібна інформація дозволяє, наприклад, попередити збій у роботі інформаційної системи, отримавши сигнал про настання події, що часто передують збою подібного типу.

Аналіз відхилень дозволяє відшукати серед множини подій ті, які істотно відрізняються від норми. Відхилення може сигналізувати про якусь незвичному подію (несподіваний результат експерименту, шахрайська операція за банківською картою або зміна напрямку руху спостережуваного об'єкта тощо) або, наприклад, про помилку введення даних оператором.

1.3. Аналіз методів та моделей обробки інформації в автоматизованих системах супроводження об'єктів

Обробка інформації може виконуватися як в результаті статистичного аналізу, так і в режимі реального часу (рис. 1.3).

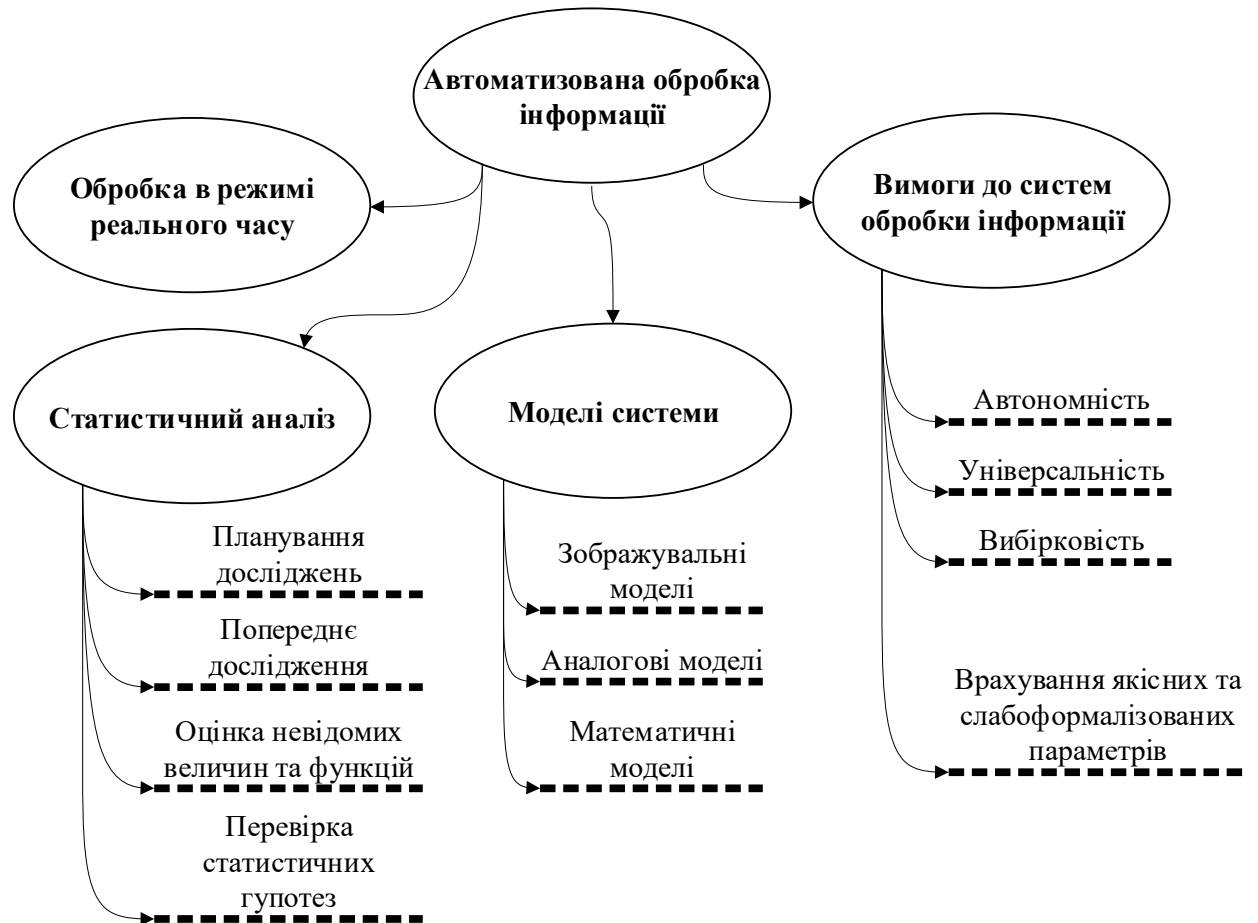


Рис. 1.3. – Обробка інформації в автоматизованих системах

Головними етапами статистичного аналізу є [27]:

- 1) Планування досліджень, результати яких можуть бути подані у вигляді випадкової вибірки.
- 2) Попереднє дослідження даних, що дозволяє в подальшому аналізі адекватно оцінити статистичні характеристики.
- 3) Оцінка невідомих числових величин та функцій, яка базується на вихідних даних.
- 4) Перевірка статистичних гіпотез, що дозволяє на основі вибірових даних оцінити невизначеність у виборі характеристик простору.

Попереднє дослідження даних включає ряд обчислювальних процедур, основні з яких: формування варіаційних рядів та гістограм, редагування даних (як приклад – вилучення аномальних значень), ідентифікація типів розподілів тощо. Сформулюємо на основі вимог до систем обробки даних, перелік вимог до базового математичного апарату, який може бути використаний в автоматизованій системі інтелектуального аналізу даних:

- Автономність – автоматизація простих етапів процесу побудови моделі, таких, як обчислення конкретних значень параметрів, вибір конкретної структури залежностей в заздалегідь фіксованому класі; експертне втручання в процес моделювання прийнятно лише на початкових етапах формулювання завдання, вибору критеріїв тощо.;

- Універсальність – незалежність методу побудови моделі від специфіки об'єкта моделювання в тих випадках, коли для вирішення групи завдань може бути використаний єдиний математичний апарат, а також можливість гнучкого нарощування складу математичних методів, підтримуваних систем підтримки прийняття рішень, для покриття завдань, які не вписуються в рамки єдиної методології (оцінка, класифікація, відновлення регресії тощо);

- Вибірковість – наявність формальних методик, що дозволяють виділити з великої кількості факторів з невідомою значущістю лише базові, що описують природу явища, без шкоди для універсальності математичної моделі, а також без істотної втрати в достовірності моделі;

- Врахування якісних та слабо формалізованих параметрів об'єкта.

Після постановки завдання, визначення складу показників якості, аналізу і вибору можливих варіантів побудови системи з попереднім аналізом, вибору параметрів, що оптимізуються, подальші дослідження проводяться на моделях для уточнення та обґрунтування структури системи, алгоритмів, визначення значень вказаних параметрів та обраних критеріїв якості.

Для великих СТС зазвичай не відразу будують великі моделі, що іноді і неможливо зробити через відсутність вихідних даних. В цьому випадку послідовно проводять оціночні роботи; проміжні (буферні) розрахунки;

перевірочні завершальні розрахунки на повній моделі (статистичне імітаційне моделювання з постановкою обчислювального експерименту).

Складання моделі системи полягає в розробці аналога реального процесу функціонування системи з урахуванням певних, найбільш істотних залежностей, зв'язків, факторів впливу.

Моделі можуть бути (в залежності від глибини відображення окремих сторін):

- зображувальні моделі. Зображують зовнішню сторону, проте не дають внутрішньої структури функціонування, дають тільки статистику (моделі кораблів, літаків і т.д.). Вони створюються для продувок, випробувань;

- аналогові моделі (діаграми, карти). Ці моделі в деякій мірі дають динаміку розвитку, дають певні кількісні співвідношення, але вони не дозволяють досліджувати процес, а тому не підходять для дослідження функціонування системи в динаміці;

- математичні моделі засновані на описі функціонування системи математичними методами. Такі моделі дають не тільки описання системи, але і дозволяють провести певні дослідження на основі аналізу процесу функціонування.

Математичні моделі в залежності від типу системи і від того, чи є в системі сторони, що приймають рішення, поділяються на описові та нормативні.

Описові моделі створюються для систем, в яких немає сторін, що приймають рішення. Система функціонує певним чином за заданими алгоритмами при певних початкових умовах. Це, як правило, системи типу масового обслуговування. Для побудови та дослідження таких систем застосовуються теорія систем масового обслуговування, теорія графів, мережеве планування, теорія ймовірностей, математична статистика тощо.

Нормативні моделі - це моделі систем, де є сторони, що приймають рішення. Вони, в свою чергу, поділяються на моделі оптимізації та теоретико-ігрові моделі. Моделі оптимізації створюються, коли рішення вибирає одна

сторона (оператор, дослідник) і коли необхідно, щоб система функціонувала оптимальним, екстремальним чином в умовах зовнішнього середовища. Основне завдання зводиться до оптимізації обраних показників якості системи. Іноді такі системи називають керованими системами [73]. У багатьох таких системах застосовується двоетапне управління, засноване на двоетапній оптимізації, - оптимальна програма основного руху і коригуюче управління рухом наближеним до основного руху (наприклад, автомат, автопілот). Теоретико-ігрові моделі створюються, коли рішення приймається декількома сторонами (не менше двох). Такі завдання вирішуються методами теорії ігор і із застосуванням деяких інших прийомів.

Залежно від наявності та обліку моментів випадковості і невизначеності розрізняють наступні математичні моделі: детерміновані (випадковостями нехтують); стохастичні (випадковості враховуються, характеристики їх відомі в тому чи іншому вигляді - закон розподілу, або математичне очікування і дисперсія або інші характеристики законів розподілу, або канонічні уявлення випадкових функцій [74] і т.д.); теоретико-ігрова модель окрім випадковостей враховує недостатність інформації про середовище, протидіючу сторону, тобто рішення приймається в умовах невизначеності.

Формування моделі є продовженням виконання завдання функціонального опису системи – визначення поведінки системи, її можливостей і відносин із середовищем. Методи побудови моделей викладені в роботах [41, 73, 75, 76]. Основним питанням щодо створення моделі, яка описує конфліктну ситуацію або в ігровому плані [44, 77], або за критерієм ефективного спостерігача [78]. Розвиваються методи моделювання на основі використання ситуаційного управління, теорії непарних множин [26].

1.4. Обґрунтування та постановка наукової задачі

Підвищення вимог до точності, надійності і мобільності автоматичного виявлення і подальшого супроводу об'єктів змушує шукати нові рішення в сфері розробки алгоритмічного забезпечення для аналізу та обробки

відеопослідовностей та застосовувати комп'ютеризовані системи нових типів. Система відстеження, що встановлюється на рухомому носії, має за мету забезпечувати швидке виявлення об'єктів та визначення кутових координат для точної прив'язки об'єкта в системі прямокутних координат. Аналіз відомих статичних методів обробки інформації, показав, що якщо вимірювання координат об'єкта виконуються рухомою системою, виникають додаткові труднощі, що вимагають використання точних методів інформаційної обробки, реєстрації координат об'єкта носія під час візування об'єкта та розробки спеціальних алгоритмів, моделей та методів автоматизованого керування системою відеосупроводження рухомих об'єктів на базі сучасного програмно-математичного забезпечення.

Із вищезазначеного можемо зробити висновок, що поставлена наукова задача є актуальною, та полягає в науковому обґрунтуванні та розробці комп'ютеризованої системи, що полягає в автоматизованій підсистемі відеосупроводження рухомих об'єктів для підтримки прийняття рішень у складних технічних системах, до функціоналу яких входить відстеження рухомих об'єктів в реальному масштабі часу.

На основі проведеного аналізу літературних джерел та існуючих систем в області спостереження та супроводу об'єктів, автор вбачає науково-технічну задачу дисертаційної роботи в розробці (рис 1.4) комп'ютеризованої системи, що дозволяє:

1) Провести аналіз існуючих систем спостереження та супроводу об'єктів, визначити задачі комп'ютеризованих систем в цих системах та стан їх вирішення, обґрунтувати та сформулювати завдання дослідження.

2) Розробити модель технічної системи та метод обробки даних, які б дозволили ефективно організувати процеси отримання, обробки та збереження даних для відеоспостереження, супроводу та наведення для роботи в автоматизованому режимі систем відеоспостереження на МК.

3) Вдосконалити метод прийняття рішень, який, при управлінні системою в умовах невизначеності, забезпечить можливість чіткого визначення цілей,

набору дій та вибору оптимального альтернативного варіанту вирішення завдань.



Рисунок 1.4 – Етапи виконання наукових досліджень.

4) Розробити комп'ютеризовану систему автоматизації керування системою відеоспостереження рухомих об'єктів та методику її використання.

5) Провести експериментальні дослідження ефективності розроблених моделі, методу, комп'ютеризованої системи та взаємодії між елементами рухомої системи відеоспостереження та запропонувати шляхи подальших досліджень.

Висновки до розділу 1

1. Проведено аналіз досліджень в сферах комп'ютеризованих систем, автоматизації процесів, ідентифікації параметрів та керування в складних

технічних системах, а також системами обробки інформації при стабілізації зображення в системах відеоспостереження.

2. Класифіковано завдання інтелектуального аналізу даних, а саме: виділено завдання синтезу моделі, завдання регресії, завдання прогнозування нових значень, завдання навчання з вчителем та без нього, завдання аналізу даних за призначенням, завдання кластеризації та завдання визначення взаємозв'язків.

3. Проведено аналіз методик та принципів обробки інформації в автоматизованих системах, визначено вимоги до систем обробки даних, виведено класифікацію моделей системи, та сформульовано науково-технічні завдання дисертаційної роботи.

Список використаних джерел до розділу 1

- 1 Системи наведення та стабілізації озброєння: Монографія. / Безвесільна О.М., Квасніков В.П., Цірук В.Г., Чіковані В.В. – Київ: НАУ, 2014. – 176 с.
- 2 Банайюн Р. Линейное программирование со многими критериями качества. Метод ограниченный / Банайюн Р., Ларичев О.И., де Монгольфье Ж., Терни Ж. // Автоматика и телемеханика. – 1971. – №8. – С.108-115.
- 3 Борисов В.И. Проблемы векторной оптимизации / В.И. Борисов // Исследование операций. – М.: Наука, 1972. – С. 72-91.
- 4 Волкович В.Л. Многокритериальные задачи и методы их решения / В.Л. Волкович // Сложные системы управления. – К.: Наукова думка, 1969. Вып. 1. – С. 44-52.
- 5 Гуткин Л.С. Оптимизация радиоэлектронных устройств по совокупности показателей качества. / Л.С. Гуткин // М.: Советское радио, 1975. – 368 с.
- 6 Ларичев О.И. Человеко-машинные процедуры принятия решения: Обзор / О.И. Ларичев // Автоматика и телемеханика. – 1971, № 12. – С. 130-141.
- 7 Михалевич В.С. Последовательные алгоритмы оптимизации и их

применение / В.С. Михалевич // Кибернетика. – 1965, №1, 2. – С. 3-8.

8 Моисеев Н.Н. Методы оптимизации / Моисеев Н.Н., Иванюков Ю.П., Столярова Е.М. – М.: Наука, 1978. – 346 с.

9 Пугачёв В.С. Теория случайных функций и её применение к задачам автоматического управления / В.С. Пугачёв – М.: Гос. изд. Физ.-мат. лит., 1960. – 883 с.

10 Руа Б. Проблемы и методы принятия решений в задачах с многими целевыми функциями / Б. Руа // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. – М.: Мир, 1976. – С. 20-54.

11 Фельдбаум А.А. Основы теории оптимальных автоматических систем / А.А. Фельдбаум. – М.: Физматгиз, 1963. – 552 с.

12 Фишборн П.К. методы оценки аддитивных ценностей / П.К. Фишборн // Статистическое измерение качественных характеристик. – М.: Статистика 1972. – С. 8-30.

13 Исследование структуры и моделирование логико-динамических систем / Жук К.Д., Тимченко А.А., Доленко Т.И. – К.: Наукова думка, 1975. – 197 с.

14 Жук К.Д. Автоматизированное проектирование логико-динамических систем / К.Д. Жук, А.А. Тимченко – К.: Наукова думка, 1981. – 320 с.

15 Зиатдинов Ю.К. Методы определения оптимальных проектных параметров сложных технических систем при наличии ограничений. / Ю.К. Зиатдинов // Космическая наука и технология –1996. – Т.2., №1-2. – С. 57-61.

16 Зиатдинов Ю.К. Метод формирования множества паретооптимальных обликов сложных технических систем / Ю.К. Зиатдинов. // Космическая наука и технология. – 1996. – Т.2., №1-2. – С. 62-67.

17 Зыков А.А. Основы теории графов / А.А. Зыков – М.: ФМЛ, 1987. – 382 с.

18 Ларичев О.И. Объективные модели и субъективные решения / О.И. Ларичев – М.: Наука, 1987. – 132 с.

19 Ларичев О.И. Аналитический обзор процедур решения

многокритериальных задач математического программирования / О.И. Ларичев, О.Д. Никифоров – М.: Экономика и математические методы. – Т. XXII. № 3. – 1988. – С. 508-523.

20 Михалеви́ч В.С. Развитие методов системной оптимизации в человеко-машинных процедурах решения многокритериальных задач / В.С. Михалеви́ч, В.Л. Волкови́ч // Кибернетические методы планирования, проектирования и управления. – К.: ИК АН УССР, 1982. – С. 3-20.

21 Вычислительные методы выбора оптимальных проектных решений. / [Михалеви́ч В.С., Шор Н.З. и др.] – К.: Наукова думка, 1977. – 174 с.

22 Волкови́ч В.Л. Метод ограничений в задачах векторной оптимизации / В.Л. Волкови́ч, Л.Ф. Даргейко // Автоматика. – 1976, №3. – С.13-17.

23 Волкови́ч В.Л. Системный подход при выборе управляющих вычислительных комплексов / В.Л. Волкови́ч, Л.Ф. Даргейко // Управляющие системы и машины. – 1974, № 6. – С. 73-77.

24 Волкови́ч В.Л. Человеко-машинная процедура поиска решений в задачах многокритериальной оптимизации / В.Л. Волкови́ч, В.М. Войналови́ч // Управляющие системы и машины. – 1979, №5. – С. 24-28.

25 Попов И.А. Исследование, синтез и функционально-структурное проектирование больших технических систем. / И.А. Попов, О.Г.Коврижкин. – К., КВВАИУ, 1990. – 364 с.

26 Попов И.А. Исследование и проектирование больших технических систем / И.А. Попов, В.В. Скворцов, А.К. Мицитис – К.: КИ ВВС, 1995. – 252 с.

27 Интеллектуальный анализ данных. НОУ ИНТУИТ. Режим доступа: <http://www.intuit.ru/studies/courses/2312/612/lecture/13260>

28 Анализ данных и процессов / [А.А. Барсегян, И.И. Холод, М.Д. Тесс и др.]. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 512 с.

29 Краткий обзор алгоритмов интеллектуального анализа данных. Упрощенный алгоритм Байеса. Деревья решений. Линейная регрессия <http://www.intuit.ru/studies/courses/2312/612/lecture/13269>

30 Краткий обзор алгоритмов интеллектуального анализа данных. Алгоритмы нейронных сетей и логистической регрессии <http://www.intuit.ru/studies/courses/2312/612/lecture/13272>

31 Большие технические системы: проектирование и управление / [Л. П. Артюшин, Ю. К. Зиятдинов, И. А. Попов, А. В. Харченко.] ; под ред. И. А. Попова. – Харьков: Факт, 1997. – 400 с.

32 Бурков В. Н. Основы математической теории активных систем / В.Н. Бурков – М.: Наука, 1977. – 250 с.

33 Дружинин В.В. Системотехника. / В.В. Дружинин, Д.С. Конторов – М.: Радио и связь, 1985. – 200 с.

34 Майдельман И.Н. Отображение информации в автоматизированных системах управления / Майдельман И.Н., Ревенко В.Н., Саркисян Б.Г. – М.: Сов.радио, 1972. – 312 с.

35 Николаев В.И. Системотехника. Методы и приложения / В.И. Николаев, В.М. Брук – Л.: Машиностроение, 1985. – 199 с.

36 Новик Ф.С. Оптимизация процессов технологии металлов методом планирования экспериментов / Ф.С. Новик, Я.Б. Арсов – М.: Машиностроение, 1980. – 303 с.

37 Павлов В.В. Начало теории эргатических систем / В.В. Павлов – К.: Наукова думка, 1975. – 230 с.

38 Павлов В.В. Системы человек-машина. Проблемы и синтез. / В.В. Павлов – К.: Вища школа, 1987. – 54 с.

39 Попов Г.П. Инженерная психология и радиолокация / Г.П. Попов – М.: Сов.радио, 1971. – 135 с.

40 Растринин Л.А. Современные принципы управления сложными объектами / Л.А. Растринин – М.: Сов.радио. 1980. – 224 с.

41 Растринин Л.А. Адаптация сложных систем / Л.А. Растринин – Рига: Знание, 1981. – 360 с.

42 Самарский А.А. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры / А.А. Самарский, А.П. Михайлов – М.: Наука, 1997. – 320 с.

- 43 Городнов В.П. Моделирование боевых действий частей, соединений и объединений войск ПВО / В.П. Городнов – Х.: ВИРТА ПВО, 1987. – 379 с.
- 44 Вентцель Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель – М.: Сов. радио, 1972. – 242 с.
- 45 Принятие решений на основе самоорганизации / [Ивахненко А.Г., Зайченко Ю.П., Дмитров В.Д. и др.]. – М.: Сов. радио, 1976. – 280 с.
- 46 Бирюков Б.В. Моделирование / Б.В. Бирюков, Ю.А. Гастеев, Е.С. Геллер // Большая советская энциклопедия. –1974. – т.16. – С. 393–395.
- 47 Биченков В.В. Методика розробки систем прийняття рішення рельного масштабу часу / В.В. Биченков, А.Б. Коба, А.С. Паламарчук // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2008. – №2 – С. 6 – 11.
- 48 Ali S, Shah M (2006) Cocoa: tracking in aerial imagery pp 62,090D–62,090D–6. doi:10.1117/12.667266
- 49 Battiato S, Gallo G, Puglisi G, Scellato S, Catania SSD Sift features tracking for video stabilization
- 50 Censi A, Fusiello A, Roberto V (1999) Image stabilization by features tracking. In: Proceedings international conference on image analysis and processing, pp 665–667. doi:10.1109/ICIAP.1999.797671
- 51 Clark D, Vo BN, Bell J (2006) GM-PHD filter multitarget tracking in sonar images. In: Society of photo-optical instrumentation engineers (SPIE) conference series, society of photo-optical instrumentation engineers (SPIE) conference series, vol 6235. doi:10.1117/12.663522
- 52 Cuntoor N, Basharat A, Perera A, Hoogs A (2010) Track initialization in low frame rate and low resolution videos. In: 2010 20th international conference on pattern recognition (ICPR). pp 3640–3644. doi:10.1109/ICPR.2010.888
- 53 Daum F (1996) Multitarget-multisensor tracking: principles and techniques [book review]. IEEE Aerosp Electron Syst Mag 11(2):41. doi:10.1109/MAES.1996.484305
- 54 Erturk S (2001) Image sequence stabilisation: motion vector integration (mvi) versus frame position smoothing (fps). In: Proceedings of the 2nd international

symposium on image and signal processing and analysis, ISPA 2001. pp 266–271. doi:10.1109/ISPA.2001.938639

55 Erturk S (2003) Digital image stabilization with sub-image phase correlation based global motion estimation. *IEEE Trans Consum Electron* 49(4):1320–1325. doi:10.1109/TCE.2003.1261235

56 Freudenberg J, Middleton R, Braslavsky J (2007) Stabilization with disturbance attenuation over a Gaussian channel. In: 2007 46th IEEE conference on decision and control. pp 3958–3963. doi:10.1109/CDC.2007.4434535

57 Huang CH, Wu YT, Kao JH, Shih MY, Chou CC (2010) A hybrid moving object detection method for aerial images, vol 1, pp 357–368

58 Lin CC, Wolf M (2010) Detecting moving objects using a camera on a moving platform. In: 2010 20th international conference on pattern recognition (ICPR). pp 460–463. doi:10.1109/ICPR.2010.121

59 Miller A, Babenko P, Hu M, Shah M (2008) Multimodal technologies for perception of humans. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, pp 215–220

60 Roujol S, de Senneville BD, Hey S, Moonen CTW, Ries M (2012) Robust adaptive extended Kalman filtering for real time mr-thermometry guided hifu interventions. *IEEE Trans Med Imaging* 31(3):533–542

61 Rudol P, Doherty P (2008) Human body detection and geolocalization for uav search and rescue missions using color and thermal imagery. In: Aerospace conference, 2008 IEEE. pp 1–8. doi:10.1109/AERO.2008.4526559

62 Shen Y, Guturu P, Damarla T, Buckles B, Namuduri K (2009) Video stabilization using principal component analysis and scale invariant feature transform in particle filter framework. *IEEE Trans Consum Electron* 55(3):1714–1721. doi:10.1109/TCE.2009.5278047

63 Teutsch M, Kruger W (2012) Detection, segmentation, and tracking of moving objects in uav videos. In: 2012 IEEE 9th international conference on advanced video and signal-based surveillance (AVSS). pp 313–318. doi:10.1109/AVSS.2012.36

64 Walha A, Wali A, Alimi AM (2013) Moving object detection system in aerial

video surveillance. In: *Advanced concepts for intelligent vision systems*. Springer International Publishing, pp 310–320

65 Walha A, Wali A, Alimi AM (2013) Video stabilization for aerial video surveillance. *AASRI Procedia* 4:72–77

66 Wali A, Alimi A (2010) Incremental learning approach for events detection from large video dataset. In: *2010 7th IEEE international conference on advanced video and signal based surveillance (AVSS)*. pp 555–560. doi:10.1109/AVSS.2010.54

67 Wang Y, Zhang Z, Wang Y (2012) Moving object detection in aerial video. In: *2012 11th international conference on machine learning and applications (ICMLA)*, vol 2. pp 446–450. doi:10.1109/ICMLA.2012.206

68 Xu L, Lin X (2006) Digital image stabilization based on circular block matching. *IEEE Trans Consum Electron* 52(2):566–574. doi:10.1109/TCE.2006.1649681

69 Yalcin H, Black MJ, Collins R, Hebert M (2005) A flow-based approach to vehicle detection and background mosaicking in airborne video

70 Yang J, Schonfeld D, Mohamed M (2009) Robust video stabilization based on particle filter tracking of projected camera motion. *IEEE Trans Circ Syst Video Tech* 19(7):945–954. doi:10.1109/TCSVT.2009.2020252

71 Yang SH, Jheng FM (2006) An adaptive image stabilization technique. In: *IEEE International conference on systems, man and cybernetics, 2006. SMC '06*, vol 3. pp 1968–1973. doi:10.1109/ICSMC.2006.385019

72 Yang Y, Liu F, Wang P, Luo P, Liu X (2012) Vehicle detection methods from an unmanned aerial vehicle platform. In: *2012 IEEE international conference on vehicular electronics and safety (ICVES)*. pp 411–415. doi:10.1109/ICVES.2012.6294294

73 Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. / Н.Н. Моисеев – М.: Наука. 1981. – 488 с.

74 Пугачев В.С. Теория случайных функций и её применение к задачам автоматического управления. / В.С. Пугачев – М.: Гос. изд. Физ.-мат. лит., 1960. – 883 с.

75 Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем / Н.П. Бусленко – М.: Наука, 1978. – 400 с.

76 Шеннон К. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / К. Шеннон – М.: Мир, 1978. – 410 с.

77 Економіко-математичне моделювання: Навчальний посібник / За ред. О. Т. Іващука. – Тернопіль: ТНЕУ «Економічна думка», 2008. – 704 с.

78 Дружинин В.В. Конфликтная радиолокация / В.В. Дружинин, Д.С. Конторов – М.: Радио и связь, 1982. – 124 с.

РОЗДІЛ 2

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ДАНИХ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ В СИСТЕМАХ ВІДЕОСУПРОВОДЖЕННЯ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ

В розділі розглядаються формалізація даних та моделювання процесів ідентифікації параметрів в системах відеосупроводження рухомих об'єктів.

Розглядається процеси моделювання складних технічних систем, ідентифікації параметрів в системах стеження за об'єктом, визначаються основні задачі ідентифікації. Висвітлюється модель процесів управління та прийняття рішень в автоматизованих системах.

Розглядаються варіації циклу управління системою, визначаються елементи процесу прийняття рішень. Розглядаються процес формування варіантів побудови автоматизованої системи траєкторного стеження на базі мобільного комплексу.

Відображається процес синтезу моделі підсистем автоматизованого спостереження та траєкторного стеження за рухомими об'єктами, виділяються основні характеристики, що впливають на підсистему супроводження та описується функціональна схема такої системи. Формалізується робота методу обробки даних в системах відеосупроводження рухомих об'єктів.

Основні результати розділу висвітлені в роботах автора [1, 2].

2.1. Моделювання процесів ідентифікації параметрів в системах стеження за об'єктом

При дослідженні і проектуванні системи створюється насамперед її словесне змістовне описання – формалізація даних та моделювання процесів, що протікають в системі. Для вирішення поставлених завдань підходить математичне моделювання, а в деяких випадках - моделювання з включенням реальних елементів.

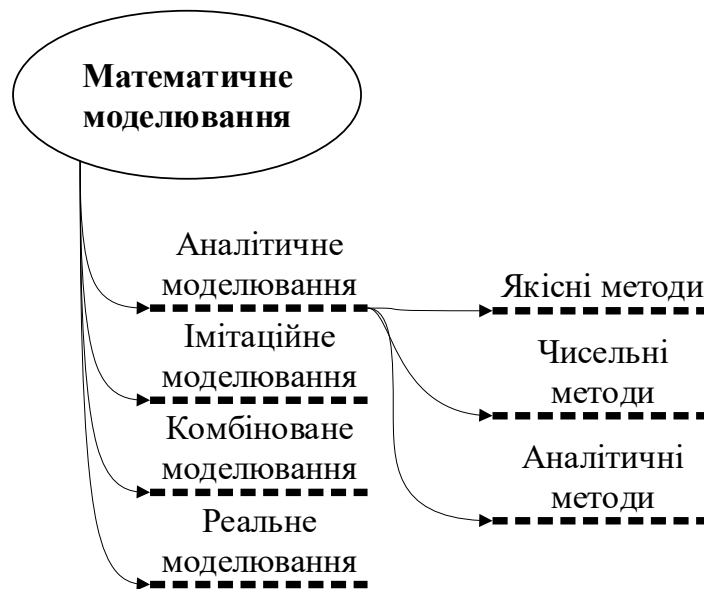


Рис. 2.1 – Методи математичного моделювання

Під математичним моделюванням розуміється процес встановлення відповідності даному реальному об'єкту деякого математичного об'єкта, званого математичною моделлю; дослідження на цій моделі дозволяє отримати характеристики розглянутого реального об'єкта. Математичне моделювання поділяють на аналітичне, імітаційне, комбіноване [26].

При аналітичному моделюванні процеси функціонування окремих елементів і системи в цілому записуються у вигляді деяких функціональних співвідношень (інтегродиференціальних, алгебраїчних, різницевих тощо). Для дослідження таких моделей в залежності від їх складності та цілей розглянемо такі методи:

- аналітичні, коли вдається отримати явні залежності від шуканих характеристик;

- чисельні, коли, не маючи можливості отримати кінцеві співвідношення, вирішують завдання чисельним розрахунком для конкретних початкових умов і вхідних параметрів.

Ці методи ефективні і розвинені із застосуванням комп'ютера (чисельні методи дозволяють вирішувати більш складні завдання, але рішення носять частковий характер);

- якісні (особливо широке застосування отримали в теорії автоматизованого управління).

При імітаційному моделюванні створюється алгоритм, що реалізує модель і відтворює процес функціонування системи в часі. Така модель дає можливість застосувати методи машинного дослідження (машинного чисельного експерименту) системи. Основною перевагою імітаційних моделей є можливість вирішення складніших завдань, а тому вони знаходять широке застосування; часто це єдиний практично доступний метод для дослідження та проектування СТС і взагалі великих систем [35].

Комбіноване моделювання (аналітико-імітаційне) дозволяє об'єднати в деяких випадках переваги аналітичного і імітаційного моделювання. В цьому випадку функціонування деяких підсистем вдається описати аналітично і отримати кінцеві співвідношення, а для інших будуються імітаційні моделі [35].

Побудова математичної моделі починається з формування загального описання проектованої системи, виявлення основних параметрів та техніко-експлуатаційних характеристик, що будуть достатні для характеристики її вигляду. При цьому повинні бути встановлені співвідношення між параметрами та іншими технічними характеристиками. Розглядаються питання практичної реалізації моделі: розробляються алгоритми і програми вирішення конкретних завдань проектування [37].

Моделі на різних етапах розробки системи можуть бути різними в залежності від наявних вихідних даних і необхідної глибини дослідження. Моделі на етапі попереднього опрацювання в першому наближенні можуть бути засновані на статистичних даних із застосуванням напівемпіричних методів розрахунків. При виконанні науково-дослідної роботи, а потім технічної пропозиції розробляється вже модель з урахуванням узагальнених залежностей для техніко-економічних характеристик. Модель повинна дозволити вирішити завдання оптимізації, сформулювати вигляд і розробити аванпроект СТС з оцінкою обраних показників якості, в тому числі і критеріїв

ефективності.

Вирішення багатьох практичних завдань можливе лише чисельним шляхом або за допомогою ретельно поставленого фізичного експерименту. Методи аналітичного математичного аналізу відповідно до дослідження складних великих систем в цілому вичерпали свої можливості. Зважаючи на складність СТС доволі складні і їх математичні моделі, до складу яких можуть входити як різні рівняння, так і просто алгоритми функціонування, логічні схеми; дослідження таких моделей без залучення чисельних математичних методів практично неможливе, у зв'язку з цим зростає роль і інтерес до різних чисельних методів і алгоритмів розрахунку, реалізація яких межує з проведенням чисельного експерименту [27, 28]. У цьому процесі застосування комп'ютера має вирішальне значення. Область застосування комп'ютерного обладнання поступово розвивалася і трансформувалася в нову сучасну методологію теоретичних досліджень, що отримала назву обчислювальний експеримент (у багатьох роботах називають цифрове моделювання, чисельний аналіз і ін.). Як видно, основою обчислювального експерименту є математичне моделювання, теоретичною базою - прикладна обчислювальна математика, а технічною - потужні комп'ютери. Використання комп'ютерної техніки в кожному випадку має свої особливості, але, разом з тим, виявлені деякі загальні характерні риси обчислювального експерименту, що дозволяють розглядати його як певне структурне машинне чисельне теоретичне дослідження.

Моделювання на основі застосування відповідної методики оптимізації дозволяє обґрунтувати структуру СТС, перевірити правильність закладеної в ній символіки, схеми і відпрацювати алгоритм і функціонування, а на основі послідовного застосування двох визначених методів оптимізації дозволяє поставити задачу проектування СТС за новою оптимізаційною технологією.

Для досягнення відповідності між математичним описом задачі прийняття рішень та обстановкою, у якій це рішення реалізується, необхідно використати загальну методологічну основи для розгляду різних задач

прийняття рішень в складних технічних системах, проведення відповідних класифікацій, встановлення зв'язків між завданнями різних класів. З цією метою використаємо структурно-математичний підхід [41] та узагальнену постановку задачі вибору.

Математична постановка задачі вибору (прийняття) рішення у загальному вигляді може бути представлена як (S, k) , де $S = \{ S_k, k \in Z \}$ - множина моделей, що відображають різні аспекти прийняття рішень в складних системах; k - правила узгодження (координації) рішень, отриманих на моделях з S .

Окрема модель прийняття рішень S_k буде визначатися як

$$S_k = (Q(s), \Delta, \{ r_i, i \in C \}, \{ f_j, j \in G \}). \quad (2.1)$$

В цій моделі: $Q(s)$ - вихідна структура вибору (модель); s - тип структури; Δ - простір альтернатив (рішень); $\{ r_i, i \in C \}$ - множина критеріїв, що обмежують вибір; $\{ f_j, j \in G \}$ - множина критеріїв переваг.

Задачу прийняття рішення (2.1) коротко можна характеризувати парою (Δ, f) , де Δ - множина допустимих альтернатив; f - правило (критерій) вибору рішення.

При формулюванні поняття «складна система» було визначено, що система є складною, якщо вона володіє, зокрема, однією з таких властивостей:

- 1) система функціонує в умовах суттєвої невизначеності впливу середовища;
- 2) у системі здійснюється цілеспрямований (багатоцільовий) вибір її поведінки, або поведінка системи задовольняє множині суперечливих вимог;
- 3) система допускає поділ на підсистеми, вивчення яких з урахуванням впливу інших підсистем носить змістовний характер.

У відповідності з цими особливостями необхідно будувати і конкретні моделі ідентифікації параметрів в складних технічних системах.

У загальному випадку [3] задача ідентифікації зводиться до визначення оператора моделі, що перетворює вхідні впливи на об'єкт у вихідні величини [4-6]. Оператор об'єкта є його математичною формалізацією, тобто математичною моделлю об'єкта, та може бути визначеним у відповідних просторах функцій. Оператори можуть характеризуватися різними структурою та характеристикам, отже, відповідно, задача ідентифікації може мати різну постановку.

Розглянемо інформаційну модель ідентифікації параметрів об'єкта у вигляді наступної структурної схеми [6]:

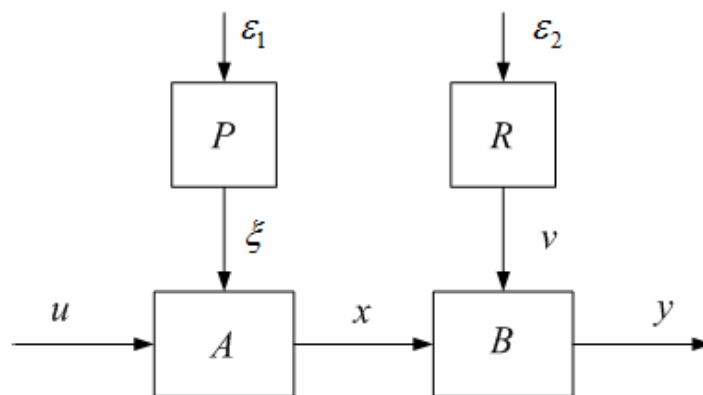


Рис. 2.2 – Структурна схема моделі об'єкта

На схемі зазначені наступні позначення: u та y вхідний та вихідний сигнали, що спостерігаються. Вони можуть бути детермінованими або випадковими, можуть бути сумішшю (зазвичай адитивною) цих складових. Вхідні сигнали можуть спеціально подаватися в систему для ідентифікації (активний експеримент), а можуть існувати в системі як управляючі чи збуджуючі впливи (пасивний експеримент); x – неспостережуваний сигнал, що оцінюється опосередковано за сигналом y , що отримується в результаті перетворення в об'єкті оператором B ; ε_1 та ε_2 – не спостережувані завади, що, як правило, є випадковими процесами на зразок білого шуму, у деяких випадках містять детерміновані складові; ξ та v – часто неспостережувані, зазвичай корельовані в часі випадкові сигнали, що у деяких випадках містять

детерміновані складові; A, B, P, R – оператори, вигляд яких в деяких випадках невідомий, а в інших відомий, але невідомі їхні параметри.

Згідно наведеній структурній схемі моделі об'єкта (рис. 2.2), основними задачами ідентифікації є:

1) Задача знаходження характеристик (параметрів) об'єкту. За відомими спостережуваними змінними u та y необхідно визначити оператори (чи параметри операторів) A та B . Часто одночасно з визначенням параметрів A та B необхідно визначити параметри операторів P та R , що перетворюють неспостережувані білі шуми ε_1 та ε_2 у неспостережувані сигнали ξ та v .

2) Задача оцінювання змінних стану. Стан об'єкту характеризується багатовимірною змінною стану, вектором, однозначно визначаючим всі його характеристики. За відомими спостережуваними випадковими сигналами u та y при відомих операторах A, B, P, R з відомими параметрами необхідно визначити (оцінити) неспостережуваний випадковий сигнал x . При цьому можливі наступні постановки задачі:

а) Оцінювання x в даний момент часу – задача фільтрації, чи, відповідно, оцінювання;

б) оцінювання x у майбутній момент часу, зсунутий на Δt відносно даного моменту – задача прогнозування чи екстраполяції;

в) Оцінювання x в минулий момент часу – задача згладжування чи інтерполяції.

3) Задача генерації випадкових сигналів з заданими характеристиками чи визначення характеристик випадкових сигналів. По спостережуваним змінним ξ чи v необхідно визначити оператор (чи параметри оператора) P (чи R).

В деяких випадках виникає задача, за якої одночасно проводиться параметрична ідентифікація A, B, P, R чи оцінювання x (одночасна ідентифікація та оцінювання), а також є можливим ряд інших часткових постановок задач ідентифікації та оцінювання [7].

В більшості робіт, присвячених ідентифікації, виділяють наступні складові, що потрібно виконати на етапі ідентифікації [8]:

- Сформулювати вимоги до даних спостережень: як виконати збір експериментальних даних, як використати дані, що були зібрані в реальних умовах проведення експерименту;

- Визначити клас об'єктів – сукупність моделей-кандидатів, з якої в наступному буде відібрана найкраща модель;

- Сформулювати так звану функцію втрат чи ризику, що характеризує адекватність об'єкта та моделі, що налаштовується, та на її основі сформулювати критерій якості ідентифікації;

- Обрати спосіб оцінки ступеня відповідності моделі, що досліджується, експериментальним даним;

- Визначити процедуру верифікації моделі: провести перевірку та підтвердження адекватності моделі, тобто виявити, в якій мірі модель дійсно «пояснює» поведінку системи що досліджується.

У більшості реальних ситуацій взаємодія об'єкта з навколишнім середовищем відповідає стандартній схемі, що наведена на рисунку 2.3 [3].

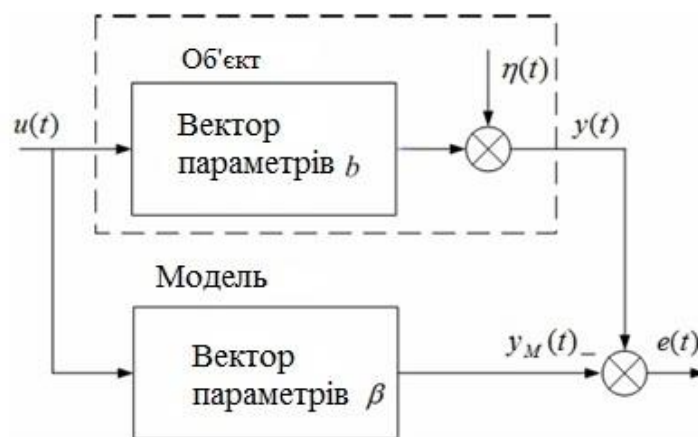


Рис. 2.3 – Типова схема спостереження при ідентифікації об'єкта

На рис. 2.3 прийняті наступні позначення: $u(t)$ – вхідний вплив; $\eta(t)$ – неконтрольований випадковий вплив; $y(t)$ – вихідний вплив об'єкта; $y_M(t)$ – вихідний вплив моделі; $e(t)$ – різниця (нев'язка) між виходами об'єкта та моделі; b – вектор параметрів об'єкта; β – вектор параметрів моделі.

Ідентифікаційний експеримент у відповідності до структурної схеми спостереження (рис 2.3) полягає в наступному [3]:

На входи об'єкта і моделі подається зовнішній вплив $u(t)$. У реальних умовах взаємодії об'єкта з середовищем сигнали спостереження за об'єктом спотворені випадковими збуреннями, обумовленими специфікою функціонування самого об'єкта, похибками методів і засобів вимірювань і неконтрольованими впливами зовнішнього середовища. При використанні такої схеми спостережень покладається, що результати вимірювань вхідного сигналу є дійсним вхідним сигналом, а всі внутрішні і зовнішні збурення, відхилення виміряних значень від істинних впливів характеризуються перешкодою $\eta(t)$. Зазвичай, в результаті експерименту отримують спостереження входу і виходу, тобто реалізації випадкових функцій $u(t)$ і $y(t)$. Оскільки об'єкт пов'язує вхід $u(t)$ з виходом $y(t)$, то цей зв'язок вихідної величини із вхідними формально можна представити деяким оператором $f_0[\cdot]$:

$$y(t) = f_0[u(t), \eta(t), b]. \quad (2.2)$$

Відповідно до залежності (2.2) вихідна величина об'єкта залежить від зовнішнього впливу $u(t)$, перешкоди $\eta(t)$ та від невідомого вектора параметрів $b = [b_0, \dots, b_m]$, значення яких безпосередньому спостереженню недоступні.

На підставі відомостей про об'єкт формується модель, під котрою розуміється деякий оператор f , перетворюючий спостережуваний вхідний вплив $u(t)$ в її реакцію $y_M(t)$:

$$y_M(t) = f[u(t), 0, \beta]. \quad (2.3)$$

Модель (2.3) описується рівняннями, подібними рівнянням об'єкта (2.2), що містять інформацію про вимірювані вхідних і вихідних величинах, причому вважається, що перешкоди не міняють вигляду моделі. Коефіцієнти цих рівнянь є параметрами моделі. Вихідна величина моделі залежить від

параметрів $\beta = [\beta_0, \dots, \beta_m]$ які розраховуються на основі алгоритму, що оброблює вектор всіх спостережень. Для знаходження вектора параметрів β необхідно визначити оптимальний, в сенсі подоби об'єкту, спосіб коректування моделі. При такому підході завдання ідентифікації полягає в побудові модельного оператора f з деякого класу операторів (задача структурної ідентифікації) і визначенні за спостереженнями $u(t)$ і $y(t)$ вектору параметрів $\beta = [\beta_0, \dots, \beta_m]$ (параметрична ідентифікація), такого, щоб вихідний сигнал моделі був би найбільш близьким до вихідного сигналу об'єкта.

На основі порівняння спотвореного перешкодою $\eta(t)$ вихідного сигналу об'єкта $y(t) = f_0(u(t), \eta(t), b)$ з вихідним сигналом моделі $y_M(t) = f(u(t), 0, \beta)$ знаходиться нев'язка – різниця вихідних величин об'єкта і моделі:

$$e(t) = y(t) - y_M(t) = e(y(t), y_M(t), \beta), \quad (2.4)$$

Для оцінки відповідності моделі об'єкту вводиться функція втрат (функція нев'язки) $F[e(y(t), y_M(t), \beta)]$, що в будь-який момент часу залежить від виходів об'єкта та моделі і не залежна від оператора, та на її основі формулюється критерій ідентифікації:

$$J(y, y_M, \beta) = M\{F[e(y(t), y_M(t), \beta)]\}, \quad (2.5)$$

де M - математичне очікування величини; $F[*]$ - деяка функція нев'язки, що, як правило, є парною функцією $F[e] = F[-e]$.

Критерій якості ідентифікації, що характеризує адекватність моделі реальному об'єкту, являє собою середні втрати. Чим менше середні втрати, тим вища якість ідентифікації. Мінімізація функціоналу ідентифікації, відповідна поліпшенню якості ідентифікації, здійснюється шляхом належного вибору структури моделі і зміною значень її параметрів. Процедура зміни реалізується алгоритмом ідентифікації.

Існують різні способи оцінювання параметрів, що відрізняються між собою по використуваному критерію оптимальності та наявності апіорної

інформації. Певною мірою вибір критерію оптимальності суб'єктивний, а процедура оцінювання істотно залежить від прийнятого критерію.

У переважній більшості випадків критерій якості ідентифікації обирається квадратичним, у вигляді інтегрального значення квадрата нев'язки:

$$J(y, y_M, \beta) = \int_0^T e^2(t) dt = \int_0^T (y(t) - y_M(t, \beta))^2 dt, \quad (2.6)$$

або середнього значення квадрата нев'язки:

$$J(y, y_M, \beta) = \frac{1}{T} \int_0^T e^2(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T (y(t) - y_M(t, \beta))^2 dt. \quad (2.7)$$

Величини $y(t)$, $y_M(t)$, $e(t)$ розглядаються як часові функції, визначені на інтервалі спостережень $[0, T]$.

При реалізації процедури оцінювання параметрів з використанням вимірювань, зібраних в дискретні моменти часу $t_j, j = 1, 2, \dots, N$, інтегральний квадратичний критерій приймає вигляд:

$$J(y, y_M, \beta) = \sum_{j=1}^N e^2(t_j) = \sum_{j=1}^N (y(t_j) - y_M(t_j, \beta))^2, \quad (2.8)$$

а середньоквадратичне відхилення розраховуватиметься наступним чином:

$$J(y, y_M, \beta) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N e^2(t_j) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (y(t_j) - y_M(t_j, \beta))^2 \quad (2.9)$$

У деяких задачах ідентифікації застосовуються модульні функції $F[e] = |e|$, ще рідше використовуються функціонали якості, відмінні від квадратичних і модульних [7]. Крім розглянутих критеріїв (2.6) - (2.9), що усереднюють втрати на деякому інтервалі спостережень $[0, T]$ (в безперервному випадку) або $t_j, j = 1, 2, \dots, N$ (в дискретному випадку), можливі формулювання критеріїв, що усереднюють втрати по всій множині реалізацій. Крім того, при вирішенні задач ідентифікації вектора параметрів за наявними вибірками вимірювань сигналів можуть використовуватися

статистичні критерії [9, 10]: максимальної правдоподібності, максимуму апостеріорної щільності розподілу ймовірності.

Методи оцінювання параметрів моделей об'єктів, в загальному випадку, можна розділити на два класи підходів залежно від способу реалізації процедури оцінювання. До першого типу відносяться підходи на основі використання явних математичних виразів, до другого - реалізації процедур оцінювання з використанням моделі, що налаштовується.

При реалізації методів оцінювання першого типу (рис. 2.4) математична модель задається у вигляді явних математичних співвідношень, що містять набір підлягають визначенню числових параметрів $\beta = [\beta_0, \dots, \beta_m]$.

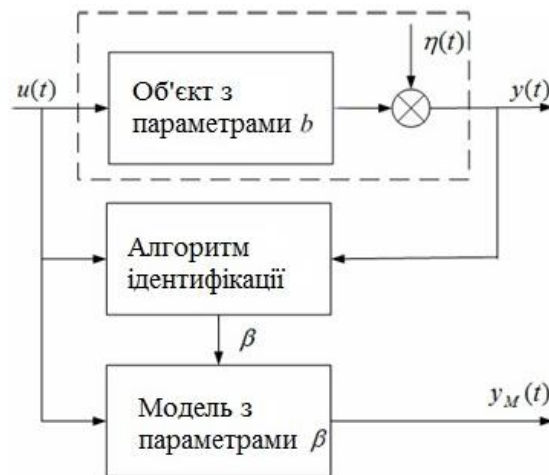


Рис. 2.4 – Структурна схема реалізації процедури оцінювання розімкнутого типу (на основі явної математичної моделі)

На об'єкті проводяться спеціальні ідентифікаційні експерименти по збору масивів вхідних $u(t)$ і вихідних $y(t)$ даних. Далі виконується обробка результатів отриманих експериментальних даних з метою мінімізації обраного

функціоналу ідентифікації $J(y, y_M, \beta) \rightarrow \min_{\beta}$.

Оптимальні процедури оцінювання параметрів β в цьому випадку зводяться до визначення наступних співвідношень:

$$\frac{\partial J}{\partial \beta_i} = 0, i, \dots, m. \quad (2.10)$$

Сукупність залежностей (2.10) відповідає системі з $m + 1$ рівнянь та з $m + 1$ вихідними оцінками $\beta = [\beta_0, \dots, \beta_m]$, що розв'язується відносно β . Оцінювання параметрів в цьому випадку здійснюється за допомогою ретроспективних алгоритмів ідентифікації, коли рішення отримується в результаті обробки всього масиву даних, шляхом виконання кінцевого числа елементарних операцій, і не може бути отримано як результат проміжних обчислень. Така процедура оцінювання, з інженерної точки зору, відноситься до методів ідентифікації поза контуром регулювання і не дозволяє обробляти спостереження, що надходять послідовно, в режимі нормальної експлуатації.

При реалізації методів оцінювання другого типу (рис. 2.5) використовується принцип підстроювання моделі до об'єкта за ознаками близькості поведінки.

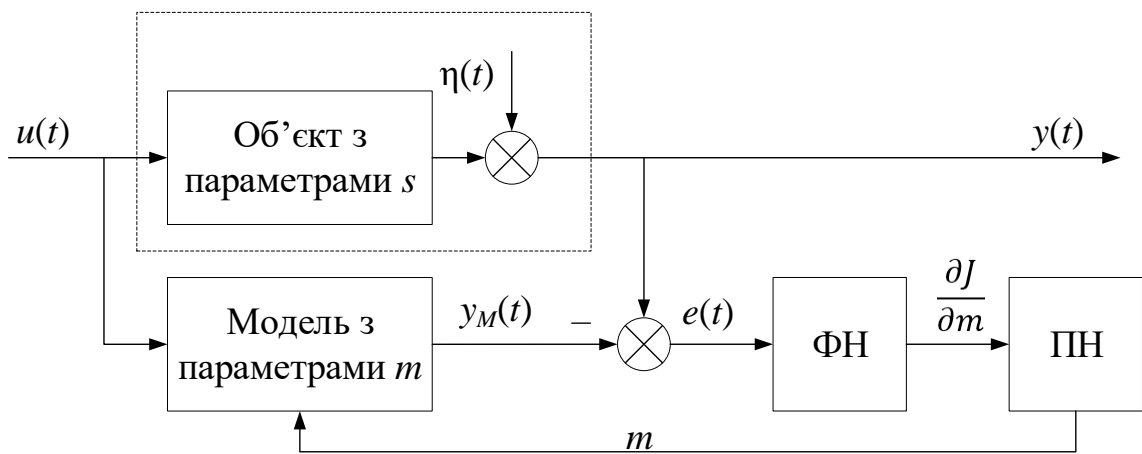


Рис. 2.5 – Структурна схема реалізації процедури оцінювання замкнутого типу. (ФН- функціональний перетворювач, ПН – пристрій налаштування)

У цьому випадку моделюється структура математичних співвідношень, параметри β якої змінюються таким чином, щоб характеристики моделі були близькі до характеристик досліджуваної системи.

При такому підході використовують таку організацію виконання співвідношень

$$\frac{\partial J}{\partial \beta_i} \rightarrow 0; i = 0, 1, \dots, m. \quad (2.11)$$

Нев'язка $e(y(t), y_M(t), \beta)$ надходить на вхід функціонального перетворювача ФП, де здійснюються вимірювання похідних $\frac{\partial J}{\partial \beta_i}$. Пристрій налаштування ПН змінює параметри налаштовуємої моделі β на основі алгоритмів ідентифікації, мінімізуючи тим самим функцію помилок шляхом виконання співвідношення (2.11). Рішення отримується, як результат нескінченного числа таких операцій, при цьому кожен проміжний результат являє наближене рішення.

Цей тип реалізації відноситься до методів ідентифікації у замкненому контурі та дозволяє проводити оперативну ідентифікацію в режимі нормального функціонування об'єкта.

Серед алгоритмів ідентифікації широке розповсюдження набули також рекурентний метод найменших квадратів та метод стохастичної апроксимації (МСА). Методу найменших квадратів відповідає мінімізація квадратного критерія (2.6), (2.7). Цей метод дає можливість вирішення систем лінійних алгоритмічних рівнянь - системи нормальних рівнянь, і тому оптимальне рішення β що мінімізує функціонал $J(\beta)$ може бути виражено в явній аналітичній формі [5].

2.2. Модель процесів управління та прийняття рішень в автоматизованих системах

Оптико-механічні системи застосовуються при розв'язку таких завдань як навігація, цілодобове пілотування повітряних апаратів, пошук, виявлення й супроводження наземних, надводних, повітряних рухомих і нерухомих об'єктів, оцінка стану техногенних об'єктів, моніторинг дорожньої обстановки й масових заходів. Залежно від області застосування оптико-механічні системи автоматизованого супроводження об'єктів будуються по різних схемах, при цьому системи автосупроводження об'єктів за даними

На рис. 2.6 відображено наступні позначки:

З – збір інформації; А – аналіз стану системи і середовища за результатами збору інформації; П – прогноз стану системи і середовища на інтервалі управління; ВР – вибір керуючого рішення; Р – реалізація прийнятого рішення; $t_{\text{поч}}$ – момент часу початку збору інформації; t_a – час початку аналізу інформації; $t_{\text{п}}$ – час початку прогнозування обстановки та стану системи; $t_{\text{вр}}$ – час початку розробки рішення; t_p – час початку реалізації прийнятого рішення; t_f – час закінчення реалізації прийнятого рішення. $t_{\text{зак}} - t_{\text{поч}}$ – тривалість циклу керування; $[t_p, t_{\text{зак}}]$ – інтервал управління;

Найважливішою функцією управління є функція вибору (прийняття) рішення (ВР), яка складає основу розробки управляючих впливів на систему з метою досягнення її цілей. Під рішенням будемо розуміти керуючий вплив, що спрямовано на досягнення цілей системи.

В даний час під прийняттям рішення (ПР) в ряді випадків розуміють весь технологічний цикл керування

$$\text{ПР} = \text{З} + \text{А} + \text{П} + \text{ВР} + \text{Р}, \quad (2.12)$$

де З – збір інформації; А – аналіз стану системи і середовища за результатами збору інформації; П – прогноз стану системи і середовища на інтервалі управління; ВР – вибір керуючого рішення; Р – реалізація прийнятого рішення.

У ряді випадків під прийняттям рішення розуміється аналіз, прогноз обстановки і вибір рішення, тобто відкидається етап збору інформації, а оперативне керування (контроль за виконанням рішення) розглядається як самостійна завдання

$$\text{ПР} = \text{А} + \text{П} + \text{ВР}.$$

В інших випадках під прийняттям рішення розуміють сам процес створення (синтезу, генерації) рішення $\text{ПР} = \text{ВР}$.

Рішення можна розрізнити залежно від тривалості інтервалу часу $[t_p, t_{\text{зак}}]$, на якому вони реалізуються. При цьому розрізняються

- Перспективні (довгострокові, стратегічні) рішення, які діють на тривалих тимчасових інтервалах, що носять глобальний характер і визначають довгострокові цілі системи;

- Оперативні рішення - рішення, які діють на невеликих часових відрізках і призначені для реалізації цільового призначення системи в конкретних умовах обстановки.

В якості основних елементів процесу прийняття рішень можна розрізняти наступні [42]:

1. Оператор (суб'єкт прийняття рішення) - один або декілька фахівців, які проводять аналіз обстановки і вироблення рішення по управлінню системою.

2. Система (об'єкт прийняття рішення). В якості системи визначимо систему траєкторного стеження, в якій приймаються рішення щодо взяття до супроводу, та взаємодії з об'єктом спостереження.

3. Цілі. У завданнях управління складними технічними системами, аналіз обстановки починається з виявлення цілі (цілей) системи. Прийнято розрізняти дві групи цілей [25]:

а). Цілі проведеного системного дослідження. В цьому випадку в якості цілі розглядається керування системою, що проводиться на основі вибору (прийняття) рішень,

б). Цілі системи. У задачах прийняття перспективних рішень по управлінню (створенню) складною технічною системою повинні бути виявлені основні цілі, які можуть бути досягнуті при її функціонуванні.

4. Ресурси (обмеження). Найважливішими видами обмежень є ресурсні обмеження, в якості яких виступають матеріальні, енергетичні, інформаційні, людські, часові обмеження тощо.

5. Альтернативи (альтернативні дії). Розрізняють такі види альтернатив:

- Варіанти поведінки системи в різних умовах зміни стану середовища;
- Варіанти прийняття рішень у різноманітних умовах обстановки.

6. Критерії (переваги, показники). В якості критерію вибору висувається або умова приналежності альтернативи до множини, що володіє певними властивостями, або досягнення при цій альтернативі екстремуму деякого показника. При порівнянні альтернатив в якості критеріїв можуть виступати відносини переваги, які досить часто задаються з використанням функцій (цільових функцій).

Основними завданнями прийняття рішень, пов'язаними з критеріями, є

- Визначення складу критеріїв (переваг, показників);
- Визначення правил узгодження критеріїв (знаходження компромісу між ними).

7. Моделі. Дослідження альтернатив і відповідних їм курсів дій проводиться на моделях. У сучасних системних дослідженнях, як правило, виникає необхідність залучення не однієї моделі, а декількох різнотипних моделей, що відображають різні аспекти функціонування складної системи, і проведення на цій основі багатомодельного дослідження. Типові моделі, що використовуються при вирішенні різних завдань:

- Аналізу - дослідження якісних характеристик певного варіанту рішення (альтернативи);
- Синтезу - завдання вибору ефективного (оптимального) рішення (альтернативи) з множини допустимих рішень.

Прийняття рішень здійснюється в декілька етапів. Це зумовлено тим, що в силу складності розв'язуваних проблем зазвичай не вдається відразу врахувати всі необхідні на кожному з етапів фактори, тому, що вони можуть бути виявлені тільки після закінчення циклу досліджень, що, у свою чергу, викликає необхідність переходу до нового циклу (нової ітерації). Насправді все ще складніше, оскільки існує необхідність внесення коректив в ті чи інші етапи за результатами виконання інших етапів, не чекаючи закінчення циклу дослідження.

Відповідно до особливостей складних систем та з тими ознаками, які характеризують систему як складну, можна сформулювати особливості моделей прийняття рішень в складних системах.

1. Прийняття рішень в складних системах являє собою багатомодельне дослідження, необхідною ознакою якого є розробка системи взаємопов'язаних моделей, що відображають різні аспекти поведінки системи і особливості прийняття рішення в них.

2. Моделі прийняття рішень повинні будуватися з урахуванням факторів невизначеності впливу зовнішнього середовища.

3. Моделі прийняття рішень повинні враховувати різноманітні суперечливі вимоги, що висуваються до системи. В результаті цього модель стає багатокритеріальною (з векторним критерієм оптимальності).

4. Складна технічна система має, як правило, розгалужену ієрархічну структуру. У такій системі здійснюється взаємозалежне прийняття рішення в підсистемах різних ієрархічних рівнів. Тоді моделі прийняття рішень повинні будуватися на основі використання методів декомпозиції та координації.

2.3. Формування структури системи траєкторного стеження

При побудові системи ТрС розглянемо весь комплекс поставлених питань, пов'язаних з її дослідженням і проектуванням: принципи побудови, структуру системи, склад і зв'язки як внутрішньосистемні, так і зовнішні, інформаційне забезпечення вирішуваних завдань, співвідношення між окремими вхідними функціональними комплексами та їх складовими елементами, управління системою в цілому й у всіх окремих підсистемах. Вирішення цих питань в певній мірі залежить від того, розміщується чи система на даному об'єкті чи на ряді об'єктів. По суті, це питання про виділення системи із середовища.

Оскільки усі функціональні комплекси системи, у тому числі керуюча підсистема, розміщені на одному об'єкті, функціонуючому самостійно, то виділення МК із середовища не викликає труднощів і основна увага повинна

бути звернена на вирішення зазначених питань при раціональному розміщенні функціональних комплексів в рамках конфігурації цього об'єкта (літака, корабля, автомобіля тощо). Належну увагу в цьому випадку приділимо внутрішньооб'єктним зв'язкам з метою вирішення завдань отримання та обробки інформації, управління системою.

Зазначені особливості складу, побудови та управління СТС на практиці вимагають розробки і застосування для їх досліджень, синтезу і проектування нових методів і прийомів. Системні методи проектування повинні враховувати специфіку СТС і базуватися на принципах, висвітлених на рисунку 2.7 [33, 35, 36].



Рис 2.7 – Принципи побудови підсистем автоматизованого спостереження

В результаті аналізу цих принципів було визначено, що складність технічної системи визначається не просто збільшенням розмірності, але і багатофункціональністю, багатокритеріальністю її оцінки, ієрархічністю її

структури, наявністю підсистем різного призначення і різної фізичної природи, і хоча СТС і складається з сукупності окремих підсистем зі своїми локальними засобами управління, їх функціонування повинно бути підпорядковане вирішенню загального завдання, поставленого перед системою в цілому.

Отже, автоматичне супроводження об'єкта оптико-механічною системою має забезпечувати безперервне суміщення оптичної осі відеодатчика системи з напрямком на об'єкт, здійснюване приводами системи з використанням інформації про координати супроводжуваного об'єкта в послідовності кадрів зображень відеодатчика. У цей час до бортових систем відеосупроводження пред'являються досить жорсткі вимоги до величини помилки супроводження при високій динаміці зміни напрямку на об'єкт (кутова швидкість і прискорення досягають значень десятків кутових градусів на секунду й сотень кутових градусів на секунду у квадраті відповідно). Похибка автоматичного супроводження об'єкта не повинна перевищувати значень декількох десятків кутових секунд. Часто система відеосупроводження розташовується на рухомому носії.

На точнісні характеристики системи відеосупроводження впливають наступні фактори [29]:

- максимальна кутова швидкість і прискорення зміни напрямку на об'єкт щодо носія опорно-поворотної платформи з відеодатчиком (ВД);
- частота формування відеокадрів;
- частота дискретизації інформації про кути повороту рамок карданного підвісу;
- ширина поля зору відеодатчика й розмір формованого їм зображення;
- точність обчислення координат центру об'єкта застосовуваними методами обробки зображення;
- величина часу запізнювання в контурі керування, що обумовлена затримуванням часом на обробку зображення;
- структура системи відеосупроводження;

- алгоритм формування керування приводами виконавчого пристрою;
- передатна функція виконавчого пристрою (приводів швидкості карданного підвісу);
- імовірність і тривалість можливого провалля інформації про положення об'єкта на зображенні.

Підсистема відеосупроводження (на базі рухомої платформи СТС або МК), функціональна схема якої показана на рис. 2.8, містить електричні приводи відпрацьовування заданих кутових положень рамок карданного підвісу, які зв'язані механічно із ВД; датчики кутових положень рамок виконавчого пристрою щодо деякого початкового положення; обчислювальний пристрій (ОП) для оцінки координат супроводжуваного об'єкта в прямокутній СК зображення.

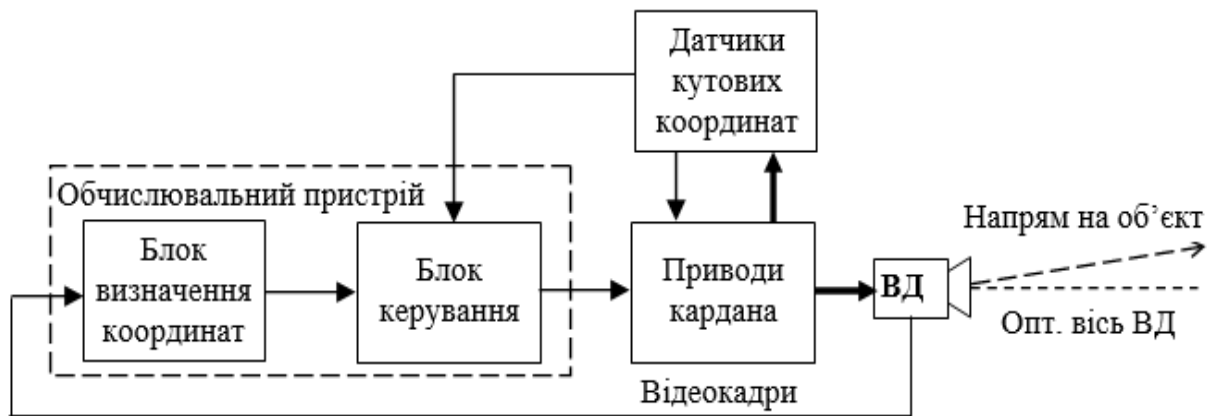


Рис. 2.8 – Функціональна схема системи відеосупроводження

У обчислювальний пристрій також входить блок керування, що виробляє, на основі прийнятого закону керування, керуючі впливи, які у вигляді вихідних напруг з виходів цифроаналогових перетворювачів подаються на приводи рамок карданного підвісу системи відеосупроводження.

Отже, основою управління складними технічними системами є формування рішення, аналіз і вибір якого виконується з використанням формальних математичних моделей адаптованих до використання реальних системах.

2.4. Синтез моделі системи спостереження та супроводження рухомих об'єктів

Як було зазначено вище завданням СТС є безперервне в часі суміщення оптичної осі ВД із напрямком на об'єкт, спостережуваний на зображенні. Для розв'язку поставленого завдання достатньо використовувати двоосьовий карданний підвіс як виконавчий пристрій. Керування положенням оптичної осі ВД у просторі здійснюється за допомогою двох приводів (рис. 2.9).

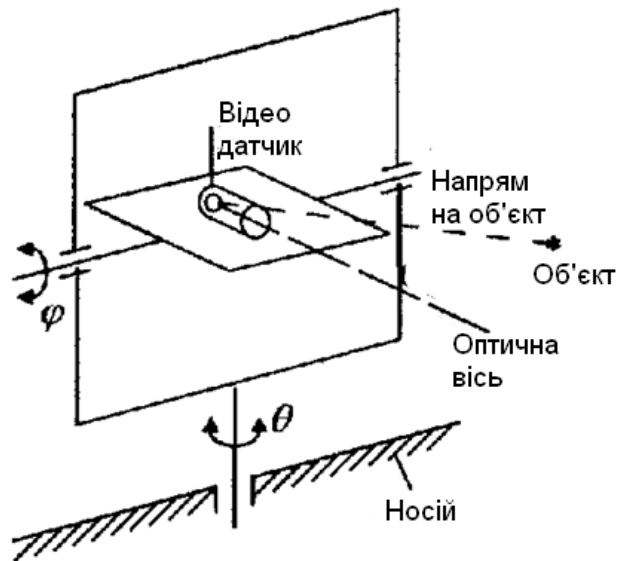


Рис. 2.9 – Двоосьова система відеоспостереження

Один із приводів змінює кут повороту θ зовнішньої рамки двоосьової карданної системи щодо носія, а інший - кут φ положення внутрішньої рамки із закріпленим на ній ВД, відносно зовнішньої рамки. Напрямок оптичної осі ВД перпендикулярний осі обертання внутрішньої рамки. На зображенні об'єкт (центр зображення об'єкта) представлений крапкою P (рис. 2.10).

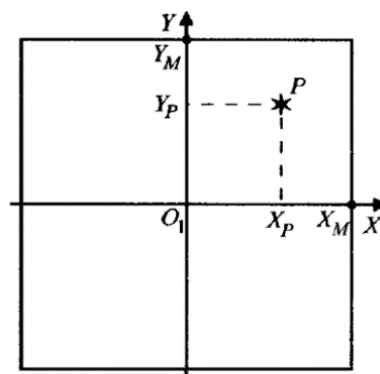


Рис. 2.10 – Зображення, що формується відеодатчиком

Система супроводження визначає координати центру зображення об'єкта X_P і Y_P у площині зображення кожного кадру (вимірювальна СК O_1, X_1, Y_1). Оптичній осі ВД відповідає крапка O , на рис. 2.10. Вважається відомим кутове поле зору ВД, якому відповідає прямокутне зображення, формоване ВД, розміром $2X_m, 2Y_m$. За вимірними значеннями X_P, Y_P і показаннями датчиків кута повороту θ і φ на момент одержання кадру зображення визначаються необхідні кутові положення рамок кардана θ_P і φ_P , при яких оптична вісь ВД збігатиметься з напрямком на об'єкт. При цьому зміщення $\Delta\theta = \theta_P - \theta$ та $\Delta\varphi = \varphi_P - \varphi$ будуть представляти неузгодженість, а θ_P і φ_P у деякій прийнятій системі відліку (СК прив'язаної до будівельних осей носія СТС), можна розглядати як задані значення кутів повороту рамок карданного підвісу.

Прийmemo в якості моделі зображення, сформоване ВД із полем зору ($2\theta_d$ і $2\varphi_d$), (зображення розміром $2X_d$ x $2Y_d$, що формується на чутливій прямокутній пластині $ABCD$, перпендикулярній оптичній осі ВД OO_1 і розташованій на відстані R від крапки O (центра оптичної системи ВД)). Побудова моделі зображення здійснюється за умови, що будь-яка довільна крапка пластини сприймає тільки світловий потік променя, що проходить через дану крапку й центр O ВД (рис. 2.11)

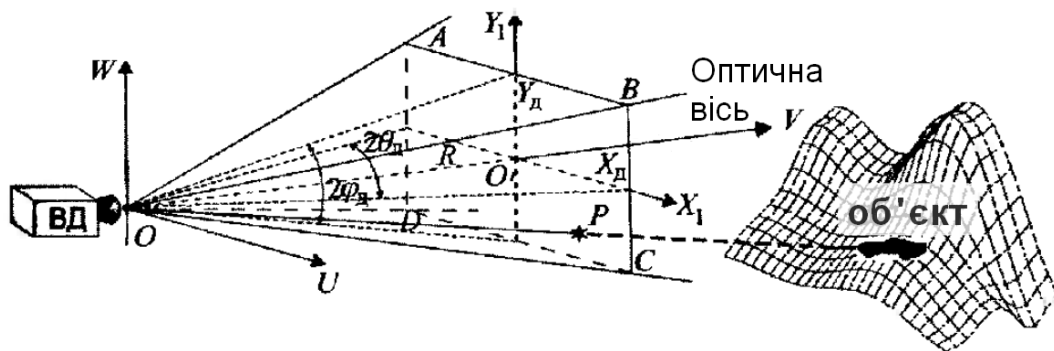


Рис. 2.11 – Системи координат, що використовуються при формуванні зображення відеодатчика

Зазначена модель зображення в деякому масштабі, що залежить від величини K і фокусної відстані лінзи, буде повторювати зображення, формоване ВД. Надалі під створюваним ВД зображенням будемо розуміти

зображення на плоскому прямокутнику $ABCD$, розміри якого визначаються величинами R , θ_d , φ_d . Крпка O_1 цього зображення завжди буде перебувати на поверхні кулі (рис. 2.12) радіуса R із центром у крапці O , крапкою, що є перетинанням осей обертання рамок карданного підвісу (рис. 2.9).

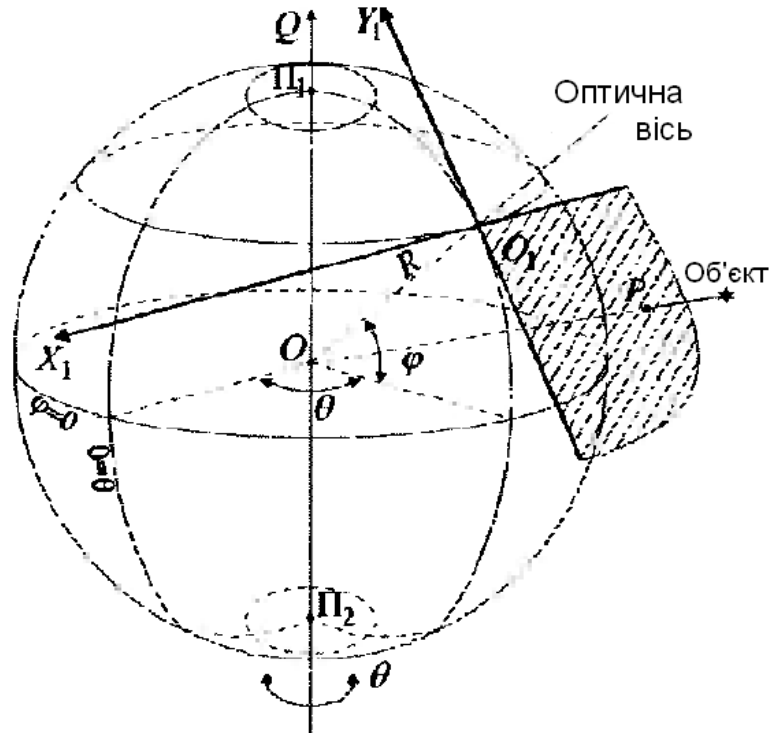


Рис. 2.12 – Ілюстрація неузгодженості напрямку на об'єкт та оптичної вісі відеодатчика

Положення крапки O , на кулі однозначно визначається значеннями θ і φ . Кут φ визначається як кут нахилу оптичної осі ВД до площини, що включає вісь обертання внутрішньої рамки й перпендикулярної площини зовнішньої рамки, а кут θ як кут повороту зовнішньої рамки щодо деякого її положення, прийнятого за «нульове». Площина зображення $X_1O_1Y_1$ завжди є дотичною до поверхні кулі в крапці O_1 , що лежить на оптичній осі ВД.

Кола на поверхні кулі, утворені крапками перетинання поверхні кулі із площинами, перпендикулярними осі обертання зовнішньої рамки, є колами рівного значення φ оптичної осі. Крапки Π_1 , Π_2 перетинання осі обертання зовнішньої рамки з поверхнею кулі є полюсами обертання. Півплощина, що обмежена віссю обертання Q і утворююча з аналогічною півплощиною,

прийнятою за нульову, кут θ , є півплощиною рівного θ . При куті повороту θ зовнішньої рамки крапка O_1 оптичної осі буде зі зміною кута φ зміщуватися уздовж лінії перетинання даної півплощини з поверхнею кулі (лінія однакового значення θ).

Вісь Y_1 , зображення (або її частина) при кутах θ і φ , що визначають напрямок оптичної осі, завжди перебуває в півплощині заданого θ . Вісь X_1 зображення є лінія перетинання двох площин, що включають відповідно коло рівного значення φ і головне коло із центром у т. O , що включає в себе т. O_1 (на рис. 2.12 не вказана). Промінь OP визначає напрямок на об'єкт. Крапка P - крапка перетинання променя OP із площиною зображення. Визначення кутових координат θ_p і φ_p крапки P (або променя OP) або різниць $\Delta\theta = \theta_p - \theta$ і $\Delta\varphi = \varphi_p - \varphi$ пояснює рис. 2.13.

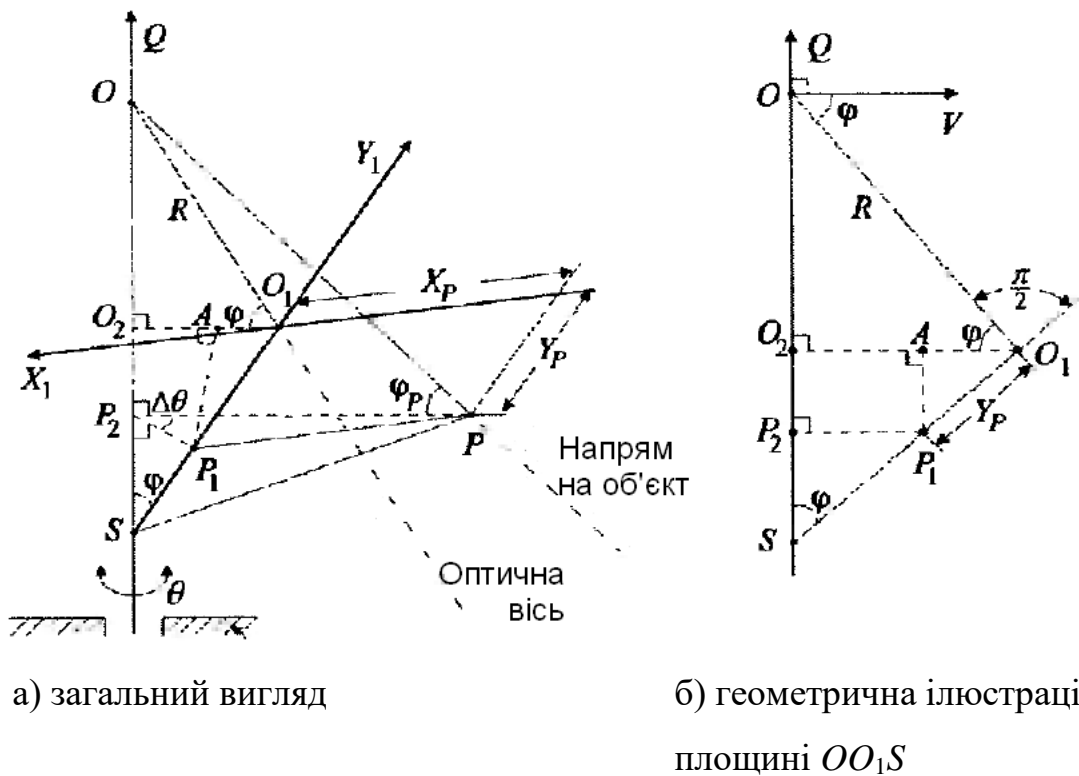


Рис. 2.13 – Геометричне пояснення визначення кутових координат об'єкта

На рис. 2.13, а, б вісь Q відповідає осі обертання зовнішньої рамки карданного з'єднання. Відрізок OO_1 , довжиною R лежить на оптичній осі ВД, OO_2 - перпендикуляр на вісь Q . Кут φ визначає нахил оптичної осі до площини, перпендикулярної осі Q . Площина зображення $X_1O_1Y_1$ перпендикулярна

напрямку оптичної осі. Крапка P с координатами X_p, Y_p є крапка перетинання лінії, що визначає напрямок на об'єкт із площиною зображення. Крапка S є крапкою перетинання осі Y_1 з віссю Q , або, інакше кажучи, крапкою перетинання віссю Q площини зображення.

При зміні θ і постійному значенні φ крапка O_1 буде рухатися по колу із центром у крапці O_2 . При цьому вісь X_1 , завжди буде дотичною до даного кола в крапці O_1 . Аналогічно крапка P_1 буде рухатися по колу із центром у крапці P_2 , а пряма PP_1 , паралельна осі X_1 , по суті, дотична до зазначеного кола. Отже, PP_2 і P_1P_2 - перпендикулярні до осі Q що можна визначити з рис. 2.13, б, на якому площина трикутника OO_1S покладена на площину аркуша. P_1A перпендикуляр на пряму лінію, що включає O_1O_2 .

Перейдемо до визначення необхідного кута повороту $\Delta\theta$, при відпрацьовуванні якого оптична вісь виявиться в площині трикутника OPS , тобто кута P_1P_2P (рис. 2.13, а). При цьому за позитивне значення кута φ будемо ухвалювати кут O_1OV (рис. 2.13, б), відлічуваний від осі OV проти годинникової стрілки, вважаючи справедливим обмеження $|\varphi| < \pi/2$. Можемо виділити наступні співвідношення: $\angle OO_1O_2 = \varphi = \angle O_1P_1A$ - кути, утворені взаємно перпендикулярними прямими; $P_1P_2 = O_1O_2 - O_1A$, де $O_1A = Y_p \sin \varphi$.

Враховуючи знаки Y_p та φ отримаємо:

$$P_1P_2 = O_1O_2 - Y_p \sin \varphi = R \cos \varphi - Y_p \sin \varphi$$

$$OP_2 = OO_2 + Y_p \cos \varphi = R \sin \varphi + Y_p \cos \varphi$$

$$OP = \sqrt{R^2 + X_p^2 + Y_p^2}$$

Вісь $O_1X_1 \perp OO_1$ і $OX_1 \perp O_1P_1$, отже, вісь OX_1 та паралельний їй відрізок PP_1 перпендикулярні площини трикутника OO_1S . Це означає, що кут $\angle PP_1P_2$ - прямий, отже з трикутника PP_1P_2 маємо

$$\operatorname{tg} \Delta\theta = \frac{PP_1}{P_1P_2} = \frac{-X_p}{R \cos \varphi - Y_p \sin \varphi} \quad (2.13)$$

В (2.13) знак мінус перед знакомзінним X_p поставлений з урахуванням того, що прийнято вважати позитивною зміною кута θ (тобто його зміна при обертанні площини OO_1S навколо осі Q проти годинникової стрілки).

Із прямокутного трикутника OP_2P маємо

$$\sin \varphi_p = \frac{OP_2}{OP} = \frac{R \sin \varphi + Y \cos \varphi}{\sqrt{R^2 + X_p^2 + Y_p^2}}.$$

Звідки:

$$\Delta \theta = \operatorname{arctg} \frac{-X_p}{R \cos \varphi - Y_p \sin \varphi}; \quad \theta_p = \Delta \theta + \theta; \quad (2.14)$$

$$\varphi_p = \operatorname{arcsin} \frac{R \sin \varphi + Y_p \cos \varphi}{\sqrt{R^2 + X_p^2 + Y_p^2}}. \quad (2.15)$$

Використовувані в (2.14) і (2.15) значення кутів θ і φ визначають поточний напрямок оптичної осі й беруться з показань датчиків кутів повороту рамок карданного підвісу з урахуванням початку відліку кожного з кутів. Координати супроводжуваного об'єкта представляють у пікселях оцифрованого зображення, це вимагає перетворення виразів (2.14) і (2.15). Поле зору ВД у кутових одиницях становить величину $(2\theta_d \times 2\varphi_d)$, а в лінійних одиницях - величину $(2X_d \times 2Y_d)$, де $X_d = R \operatorname{tg} \theta_d, Y_d = R \operatorname{tg} \varphi_d$ є позитивними величинами. Тоді вираз (2.14) приймає вигляд:

$$\begin{aligned} \Delta \theta &= \operatorname{arctg} \frac{-\frac{X_p}{R}}{\cos \varphi - \frac{Y_p}{R} \sin \varphi} = \operatorname{arctg} \frac{-\frac{X_d}{R} \frac{X_p}{X_d}}{\cos \varphi - \frac{Y_d}{R} \frac{Y_p}{Y_d} \sin \varphi} = \\ &= \operatorname{arctg} \frac{-\frac{X_d}{R} \operatorname{tg} \theta_d}{\cos \varphi - \frac{Y_d}{R} \operatorname{tg} \varphi_d \sin \varphi} = \operatorname{arctg} \frac{-\frac{N_{Xp}}{N_{Xd}} \operatorname{tg} \theta_d}{\cos \varphi - \frac{N_{Yp}}{N_{Yd}} \operatorname{tg} \varphi_d \sin \varphi} = \\ &= \operatorname{arctg} \frac{-N_{Xp} K_X}{\cos \varphi - N_{Yp} K_Y \varphi}; \quad \Delta \theta = \theta_p - \theta. \end{aligned} \quad (2.16)$$

Тут постійні коефіцієнти $K_x = \frac{tg\theta_d}{N_{xd}}$, $K_y = \frac{tg\varphi_d}{N_{yd}}$ визначають коефіцієнти

перерахунку помилки супроводу N_{xp} , N_{yp} у пікселях зображення в кути неузгодженості $\Delta\theta$, $\Delta\varphi$, що виражені в радіанах. Аналогічні перетворення (2.15) дають

$$\begin{aligned} \varphi_p &= \arcsin \frac{\sin\varphi + \frac{N_{yp}}{N_{yd}} tg\varphi_d \cos\varphi}{\sqrt{1 + \left(\frac{N_{xp}}{N_{xd}} tg\theta_d\right)^2 + \left(\frac{N_{yp}}{N_{yd}} tg\varphi_d\right)^2}} = \\ &= \arcsin \frac{\sin\varphi + N_{yp} K_y \cos\varphi}{\sqrt{1 + (N_{xp} K_x)^2 + (N_{yp} K_y)^2}}, \quad \Delta\varphi = \varphi_p - \varphi. \end{aligned} \quad (2.17)$$

У виразах (2.16), (2.17) N_{xp} і N_{yp} кількість пікселів рівномірно дискретизованого по осях O_1, X_1 зображення, якими представлені величини X_p і Y_p відповідно з урахуванням їх знаку; N_{xd} , N_{yd} - позитивні величини в пікселях, відповідні до значень X_d , Y_d .

Для $\Delta\theta$ і $\Delta\varphi$ при виконанні певних умов можуть бути отримані достатньо прості наближені вирази. Так, при $\theta_d < \pi/4$, $\varphi_d < \pi/4$, розміри зображення за осями у кілька сотень пікселів у сталому режимі супроводу об'єкта (відхилення центру об'єкта від центру зображення не перевищує одного - трьох пікселів), знаменник у дробі (2.17) можна прийняти за одиницю. Тоді при малих $\Delta\varphi$ можна записати

$$\begin{aligned} \sin\varphi_p &= \sin(\varphi + \Delta\varphi) = \sin\varphi \cos\Delta\varphi + \cos\varphi \sin\Delta\varphi \approx \\ &\approx \sin\varphi + \Delta\varphi \cos\varphi \approx \sin\varphi + N_{yp} K_y \cos\varphi. \end{aligned} \quad (2.18)$$

З останньої наближеної рівності в (2.18) маємо

$$\Delta\varphi \approx N_{yp} K_y. \quad (2.19)$$

При тих же оговорених умовах для малих $\Delta\theta$ і значень $|\varphi| \leq 84$ кут. градусів ($\cos(|\varphi|) > 0,1$) другою складовою знаменника в (2.16) можна зневажити й, замінюючи $tg\Delta\theta \approx \Delta\theta$ (у радіанах) одержуємо

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \Delta \theta &\approx -K_X \frac{N_{Xp}}{\cos \varphi}; \\ \Delta \theta &\approx \operatorname{arctg} \left(-K_X \frac{N_{Xp}}{\cos \varphi} \right) \approx -K_X \frac{N_{Xp}}{\cos \varphi}. \end{aligned} \quad (2.20)$$

При виконанні зазначених вище умов, обчислення неузгодженостей $\Delta \varphi$ і $\Delta \theta$ можна виконувати за спрощеними виразами (2.19), (2.20).

Важливе значення має розв'язок зворотного завдання – за значеннями кутів φ , φ_p , θ , θ_p визначити координати X_p , Y_p точки P на площині зображення. Це необхідно для моделювання системи супроводження об'єктів на комп'ютері й дослідження впливу різних дестабілізуючих факторів на стійкість і точність роботи системи в цілому, а також для визначення траєкторії руху об'єкта на плоскому зображенні.

Звернемося знову до рис. 2.13, а. Для прямокутного трикутника PP_1P_2 , враховуючи знаки X_p і $\Delta \theta = \theta_p - \theta$ отримаємо

$$X_p = -(P_1P_2) \operatorname{tg} \Delta \theta = -(R \cos \varphi - Y_p \sin \varphi) \operatorname{tg} \Delta \theta. \quad (2.21)$$

$$X_p = -(P_2P) \sin \Delta \theta = -\frac{OP_2}{\operatorname{tg} \varphi_p} \sin \Delta \theta = \frac{R \sin \varphi + Y_p \cos \varphi}{\operatorname{tg} \varphi_p} \sin \Delta \theta. \quad (2.22)$$

Якщо прирівняти праві частини (2.21), (2.22), та розв'язати отримане рівняння відносно Y_p , отримаємо

$$Y_p = \frac{R(\cos \varphi \operatorname{tg} \varphi_p - \sin \varphi \cos \Delta \theta)}{\sin \varphi \operatorname{tg} \varphi_p + \cos \varphi \cos \Delta \theta}.$$

Таким чином, визначення відносних величин Y_p/R і X_p/R зводиться до послідовного обчислення наступних виразів

$$\frac{Y_p}{R} = \frac{\cos \varphi \sin \varphi_p - \sin \varphi \cos \varphi_p \cos \Delta \theta}{\sin \varphi \sin \varphi_p + \cos \varphi \cos \varphi_p \cos \Delta \theta}. \quad (2.23)$$

$$\frac{X_p}{R} = \left(\frac{Y_p}{R} \sin \varphi - \cos \varphi \right) \operatorname{tg} \Delta \theta. \quad (2.24)$$

Величини $\frac{Y_p}{R}$ і $\frac{X_p}{R}$ можна перевести в пікселі N_{Yp} , N_{Xp} оцифрованого зображення, як це здійснено у виразі (2.16) з можливим наступним

округленням до цілих значень. Для цього достатньо в (2.23), (2.24) зробити заміни:

$$\frac{Y_p}{R} \rightarrow \frac{N_{Yp}}{N_{Yд}} \operatorname{tg} \varphi_{д} = K_Y N_{Yp}; \quad \frac{X_p}{R} \rightarrow \frac{N_{Xp}}{N_{Xd}} \operatorname{tg} \theta_{д} = K_X N_{Xp};$$

Відповідно можна записати

$$N_{Yp} = \frac{1}{K_Y} \frac{\cos \varphi \sin \varphi_p - \sin \varphi \cos \varphi_p \cos \Delta \theta}{\sin \varphi \sin \varphi_p + \cos \varphi \cos \varphi_p \cos \Delta \theta}. \quad (2.25)$$

$$N_{Xp} = (K_Y N_{Yp} \sin \varphi - \cos \varphi) \operatorname{tg} \Delta \theta. \quad (2.26)$$

Якщо вважати, що виконуються умови, описані при отриманні наближених співвідношень (2.18), (2.19), (2.20), то в (2.25) і (2.26) приблизно можна враховувати, що $\cos \Delta \theta = 1$ і $K_Y N_{Yp} \sin \varphi = 0$, вважаючи, що $K_Y N_{Yp} \ll \cos \varphi$. Це дає можливість використання наближених співвідношень:

$$\begin{aligned} N_{Yp} &\approx \frac{1}{K_Y} \frac{\cos \varphi \sin \varphi_p - \sin \varphi \cos \varphi_p}{\sin \varphi \sin \varphi_p + \cos \varphi \cos \varphi_p} = \frac{1}{K_Y} \frac{\sin(\varphi_p - \varphi)}{\cos(\varphi_p - \varphi)} = \\ &= \frac{1}{K_Y} \operatorname{tg}(\varphi_p - \varphi) \approx \frac{1}{K_Y} (\varphi_p - \varphi) = \frac{1}{K_Y} \Delta \varphi; \\ N_{Xp} &\approx \frac{-1}{K_X} \cos \varphi \operatorname{tg} \Delta \theta \approx -\frac{\cos \varphi}{K_X} \Delta \theta, \end{aligned}$$

де кути $\Delta \varphi$ і $\Delta \theta$ беруться в радіанах.

Слід відмітити:

- для реалізації системи автосупроводження об'єкта можна використовувати обчислення відхилень $\Delta \varphi$ і $\Delta \theta$ по виразах (2.16), (2.17) або (2.19), (2.20) для керування відповідними приводами, замкненими швидкісним зворотним зв'язком. Можна також використовувати слідкуючі приводи, замкнені по положенню вихідного валу, причому величини, що обчислюються, θ_p і φ_p будуть заданими значеннями кутів повороту відповідних слідкуючих приводів;

- використання в системі супроводження наближених оцінок (2.19), (2.20) не усуває взаємний зв'язок контурів керування по θ і φ . Цей зв'язок проявляється в тому, що зміна кожної із зазначених координат приводить до

одночасної зміни не тільки значень X_p і Y_p , але й $\Delta\theta$, $\Delta\varphi$. Використання точних виразів (2.16), (2.17) для обчислення $\Delta\theta$ і φ_p фактично усуває цей взаємний зв'язок;

- при формулюванні всіх виразів передбачалася наявність обмеження для кута φ значеннями $\pm \pi/2$.

2.5. Формалізація методу обробки даних в системах відеосупроводження рухомих об'єктів

Багато створюваних систем відеосупроводження вимагають «інтелектуальних» здібностей від систем автоматичного управління, які можуть бути забезпечені системами з людиною-оператором, пристроями штучного інтелекту, робототехнічними пристроями, дистанційними маніпуляторами тощо. Для вирішення інтелектуальних завдань необхідно використовувати нове покоління систем автоматичного управління та автоматизованих систем управління з більш широкими можливостями. Найпростіші з них – системи, що навчаються, нечіткі автомати, системи з імітацією людини-оператора тощо [31].

В комп'ютеризованих системах управління слід звертати увагу на функції людини та комп'ютера. Вони можуть бути дуже різними і визначатися ступенем автоматизації в системі. У більшості випадків на людину-оператора покладаються завдання аналізу інформації, що надходить та прийняття відповідних рішень. Діяльність оператора в процесі вирішення поставленого завдання може бути розбита на три етапи: ознайомлення з обстановкою та оцінка ситуації; рішення задачі та прийняття рішення з управління чи інших завдань; видача команди відповідно до прийнятого рішення.

Можливі різні схеми автоматизованих систем управління з участю людини [32, 34, 38]. В системах із застосуванням комп'ютера оператору, крім відомостей про керовані об'єкти, передається інформація про стан автоматичної системи регулювання. Оператор контролює виконання завдань

комп'ютера і у випадках відмови в роботі або аномальності в ситуаціях тимчасово бере на себе розв'язувані ними завдання.

Із вищезазначеного аналізу можна зробити висновок, що у мобільних комплексах є доцільним розподілення функцій управління і органів управління комплексами і системою [32, 33, 40]. При супроводі рухомих об'єктів можемо виділити дві основні операції:

- стробування та визначення нових відміток для продовження траєкторії,
- фільтрація параметрів траєкторії й побудова функції, що описує зміну цих параметрів у часі (рівняння стану).

На основі аналізу алгоритму (рис. 1.3) а також методів обробки інформації та ідентифікації параметрів (розділи 1.3 та 2.1), структури підсистеми автоматизованого спостереження (розділ 2.4) та моделі системи траєкторного стеження (розділ 2.5) було розроблено метод обробки даних в системі відеосупроводження рухомих об'єктів (рис 2.14).

Порядок роботи даного методу полягає в наступному.

1. З відеодатчика до блоку ідентифікації параметрів надходить зображення спостережуваного об'єкту, що було зафіксовано оператором системи, а з блоку гіроскопічних пристроїв надходять значення впливу зовнішніх збурень.

2. За отриманим зображенням виконується розрахунок параметрів руху цього об'єкта, а дані з блоку гіроскопічних пристроїв використовуються для кореляції зображень.

3. Проводиться порівняння отриманих даних про об'єкт з моделлю (цей пункт ігнорується при першій ітерації).

4. Встановивши наявність відповідного рухомого об'єкту (РО) на зображенні та виконується розрахунок даних зміщення об'єкта управління (ОУ) для суміщення осі візування з РО та виконується ідентифікація параметрів об'єкта спостереження.

5. Розраховані координати зміщення та параметри РО записуються у модель (передаються до бази знань).

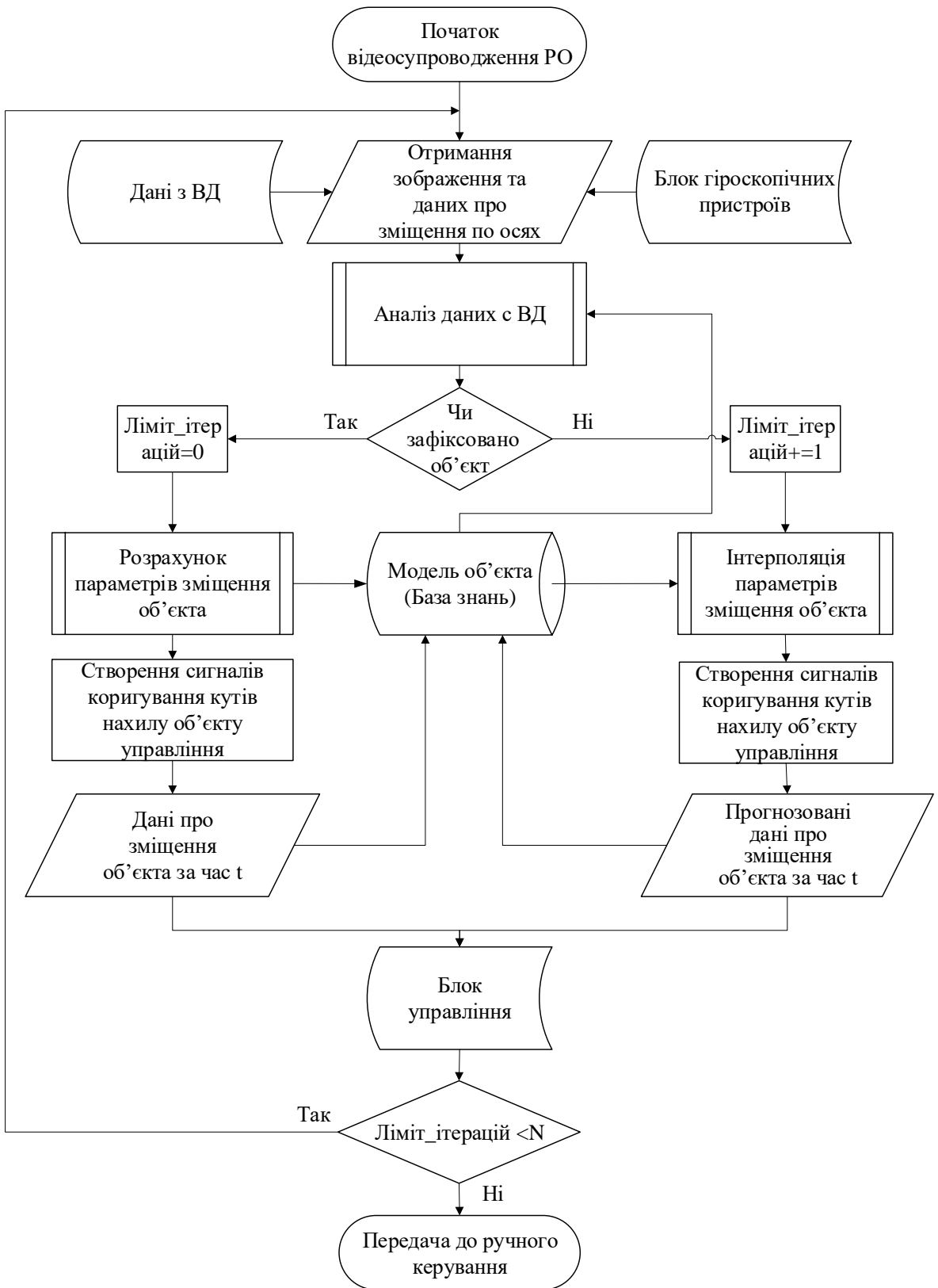


Рис. 2.14 – Метод обробки даних в системі відеосупроводження рухомих об'єктів

6. Дані про прогнозоване зміщення передаються до блоку управління, де, формуються керуючі сигнали, що забезпечують як стабілізацію так і

вирівнювання вісі візування з врахуванням переміщень спостережуваного РО, та викликається наступна ітерація відеосупроводження.

7. У випадку втрати об'єкта з поля зору (невідповідність спостережуваного об'єкта моделі з бази знань), з БЗ беруться останні дані про зміщення спостережуваног об'єкту та виконується прогнозування (екстраполяція) координат зміщення РО.

8. При перевищенні певної кількості (N) ітерацій без виявлення об'єкта – виконується передача управління до ручного режиму оператора.

Для формування моделі можуть використовуватись різні характеристики об'єкта, такі як розмір, координати ключових точок, відстань до об'єкта, швидкість зміщення та інші.

Висновки до розділу 2

1. Розглянуто основні методи моделювання та моделі ідентифікації параметрів рухомих об'єктів, визначено основні задачі ідентифікації, та виділено основні складові, що потрібно виконати на етапі ідентифікації. Також визначено фактори, що відіграють основну роль при побудові математичних моделей.

2. Розглянуто модель процесів управління та прийняття рішень в автоматизованих системах. Виділено елементи та особливості процесу прийняття рішень.

3. Розглянуто процес формування структури системи траєкторного стеження на основі (розділ 2.3), підходи до побудови моделі спостережуваних рухомих об'єктів та систем стеження та виділено підхід, що дозволяє оптимально виконувати поставлену задачу.

4. Розглянуто принципи побудови підсистем автоматизованого спостереження та супроводу об'єктів. Визначено фактори, що впливають на точнісні характеристики системи відеосупроводження, та розроблено функціональну схему системи відеосупроводження.

5. Розроблено модель системи спостереження та траєкторного стеження, на основі двоосьового карданного підвісу. Описано процес обрахунку кутів повороту, для визначення траєкторії руху об'єкта на плоскому зображенні.

6. Розроблено метод обробки даних в системах відеосупроводження рухомих об'єктів та описано порядок його роботи.

Список використаних джерел до розділу 2

1 Квасников В.П. Система идентификации параметров и восстановления функциональных зависимостей в сложных технических системах / В.П. Квасников, А.О. Шелуха // Вісник Інженерної академії України. – 2014. – №3-4. – С. 68–72.

2 Шелуха А.О. Совершенствование структуры идентификации параметров сложных технических систем / А.О. Шелуха // Вісник Інженерної академії України. – 2015. – №2. – С. 173–176.

3 Дилиженская А.Н. Идентификация объектов управления / А.Н. Дилиженская – Самара: СамГТУ, 2009 – 136 с.

4 Райбман Н.С. Что такое идентификация? / Н.С. Райбман. – М.: Наука, 1970. – 118 с.

5 Цыпкин Я.З. Основы информационной системы идентификации / Я.З. Цыпкин. – М.: Наука, 1984. – 320 с.

6 Штейнберг Ш.Е. Идентификация в системах управления / Ш.Е. Штейнберг. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 80 с.

7 Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления / П. Эйкхофф. – М.: Мир, 1975. – 686 с.

8 Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя / Л. Льюнг. – М.: Наука. 1991. – 432 с.

9 Сейдж Э.П. Идентификация систем управления / Э.П. Сейдж, Дж.Л. Мелса. – М.: Наука. 1974. – 248с.

10 Сейдж Э.П. Теория оценивания и её применение в связи и управлении / Э.П. Сейдж, Дж.Л. Мелса. – М.: Связь, 1976. – 496 с.

- 11 Андерсон Т. Введение в многомерный статический анализ / Т. Андерсон. – М.: Гос. изд. физ.-мат. лит., 1963. – 500 с.
- 12 Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Высш. шк., 1999. – 676 с.
- 13 Алгоритмы и программы восстановления зависимостей / [Под редакцией В.Н. Вапника]. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1984. – 816 с.
- 14 Колемаев В.А. Теория вероятностей и математическая статистика / В.А. Колемаев, О.В. Староверов, В.Б. Турундаевский. — М.: Высшая школа, 1991.
- 15 Вапник В.Н. Непараметрические методы восстановления плотности вероятности / В.Н. Вапник, А.Р. Стефанюк. — М.: Автоматика и телемеханика, 1978. – № 8. –С. 38–52.
- 16 Тюрин Ю.Н. Статистический анализ данных на компьютере / Ю.Н. Тюрин, А.А. Макаров – М.: ИНФРА-М, 1999. –258 с
- 17 Айвазян С.А. Прикладная статистика: Исследование зависимостей / Айвазян С.А., Енюков И.С. Мешалкин Л.Д.; под ред. С.А. Айвазяна. – М.: Финансы и статистика, 1985. – 487 с.
- 18 Efroimson M.A. Multiple regression analysis / M.A. Efroimson // *Mathematical Methods of Digital Computers*. – N.Y., 1960. – P. 191 – 203.
- 19 Крисилов В.А. Редукционный метод построения регрессии в условиях изменяющегося состава факторов / В.А. Крисилов, С.М. Побережник // *Труды Одесского политехнического университета*. – 2001. – № 2. – С. 105 – 110.
- 20 Крисилов В.А. Проблема автоматизации построения модели предметной области в задачах искусственного интеллекта / В.А. Крисилов, А.А. Антонов, С.М. Побережник // *Труды Одесского политехнического университета*. – 1999. – № 3. – С. 119 – 123.
- 21 Верещагин Н.Л. Лекции по математической логике и теории алгоритмов. Часть 1. Начала теории множеств. / Н.Л. Верещагин, А. Шень – М: МЦНМО, 1999. – 128 с.

22 Гайдышев И.П. Оптимизация выбора алгоритмов линейной алгебры под задачи многомерной статистики с позиций практического подхода программиста / И.П. Гайдышев, О.М. Кобазева, В.А. Уткин // Тезисы докладов II региональной конференции "Информационные технологии в обществе. Различные аспекты информатизации", 24– 25 апреля 2000 г.: тезисы докл. – Курган, 2000. – С. 25–27.

23 Краскэл Дж.Б. Многомерное шкалирование и другие методы поиска структуры / Дж.Б. Краскэл; Под ред. К. Энслейна, Э. Рэлстона, Г.С. Уилфа // Статистические методы для ЭВМ. – М: Наука, 1986. – С. 301–347.

24 Раудис Ш.Ю. Ограниченность выборки в задачах классификации / Ш.Ю. Раудис // Статистические проблемы управления. – Вильнюс, 1976. – Вып. 18. – 180 с.

25 Москвин Б.В. Теория принятия решений: Учебник / Б.В. Москвин. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2005. – 383 с.

26 Советов Б.Л. Моделирование систем. / Б.Л. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высшая школа, 1985. – 266 с.

27 Дородницын А.А. Становление информатики. / [А.А. Дородницын, О.М. Белоцерковский и др.]. – М.: Наука, 1986. – 190 с.

28 Попов Ю.П. Вычислительный эксперимент. / Ю.П. Попов, В.В. Самарский. – М.: Знание, 1983. – 60 с.

29 Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление / Б.А. Алпатов, П.В. Бабаян, О.Е. Балашов, А.И. Степашкин. – М.: Радиотехника, 2008. – 176 с.

30 Николаев В.И. Системотехника. Методы и приложения. / В.И. Николаев, В.М. Брук. – Л.: Машиностроение, 1985. – 194 с.

31 Дубов Ю.А. Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов системы. / Ю.А. Дубов, С.Н. Травкин, В.Н. Якимец. – М.: Наука, 1986. – 285 с.

- 32 Попов И.А. Исследование, синтез и функционально-структурное проектирование больших технических систем / И.А. Попов, О.Г. Коврижкин. – К., КВВАИУ, 1990. – 364 с.
- 33 Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. / Н.Н. Моисеев – М.: Наука. 1981. – 488 с.
- 34 Пугачев В.С. Теория случайных функций и её применение к задачам автоматического управления. / В.С. Пугачев – М.: Гос. изд. Физ.-мат. лит., 1960. – 883 с.
- 35 Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем / Н.П. Бусленко – М.: Наука, 1978. – 400 с.
- 36 Растрингин Л.А. Адаптация сложных систем / Л.А. Растрингин – Рига: Знание, 1981. – 360 с.
- 37 Шеннон К. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / К. Шеннон – М.: Мир, 1978. – 410 с.
- 38 Вентцель Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель – М.: Сов. радио, 1972. – 542 с.
- 39 Економіко-математичне моделювання: Навчальний посібник / За ред. О. Т. Іващука. – Тернопіль: ТНЕУ «Економічна думка», 2008. – 704 с.
- 40 Дружинин В.В. Конфликтная радиолокация / В.В. Дружинин, Д.С. Конторов – М.: Радио и связь, 1982. – 124 с.
- 41 Калинин В.Н., Резников Б.А. Теория систем и управления (структурно-математический подход). / В.Н. Калинин, Б.А. Резников. – Л.: ВИКИ им. А.Ф. Можайского, 1987. -417 с.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА МЕТОДІВ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ В КОМП'ЮТЕРИЗОВАНІЙ СИСТЕМІ СУПРОВОДЖЕННЯ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ

В розділі обґрунтовується процес розробки методу обробки інформації та комп'ютеризованої системи автоматизації системи супроводження рухомих об'єктів. Знайшли відображення етапи проектування моделі комп'ютеризованої системи системи траєкторного стеження у системі прийняття рішень.

Проаналізовано та досліджено основні показники оптимізації обробки інформації та прийняття рішень в системі траєкторного стеження, методи вирішення завдання оптимізації, та виділяються основні групи завдань, що повинні вирішуватися при проектуванні комп'ютерних систем.

Розроблений новий метод прийняття оптимального рішення у складних технічних системах, розроблено граф функціонування підсистеми обробки зображення та прийняття рішень.

Проведений аналіз параметрів функціонального комплексу складної технічної системи та визначаються шляхи отримання їх оптимальних значень. Запропоновано варіанти структурних схем для комп'ютеризованої системи автоматизованого супроводження об'єктів, та обрано оптимальний варіант.

Основні результати даного розділу висвітлені в роботах автора [1-3]

3.1 Функціонально-структурне проектування моделі системи

Граф цілей і завдань показує декомпозицію головної цілі системи на ієрархічну послідовність цілей і завдань, що вирішуються при дослідженні і функціонально-структурному проектуванні СТС.

Складання мережевої моделі цілей і завдань дозволяє уточнити основну ціль, завдання, що стоять перед окремими підсистемами; дозволяє також

визначити і уточнити модель системи, завдання з управління, потрібні зв'язки і співвідношення між елементами і підсистемами.

Безпосередньо до виконання цих робіт прилягає і опис зовнішнього середовища і основних параметрів, що визначають його стан та взаємодію з системою. Визначення характеристик і параметрів різних збурювань, що впливають на систему, як пасивних, так і активних, що є також одним із завдань розглянутого етапу проектування СТС.

Управління СТС має бути ієрархічним, тобто ґрунтуватися на поєднанні централізованого координованого командного управління системою в цілому з автоматичним або автоматизованим управлінням в підсистемах. У таких системах людина (оператор), є активним учасником управляючої системи, а, отже, потрібно узгоджене управління на всіх рівнях [12-14]. Спрощено загальна модель процесу управління M може бути представлена у вигляді відображення

$$M: C_u(V_t, Y_t); R_{U_t}; Y_t^1 \rightarrow Y_t' \rightarrow U_t,$$

де C_u – функція стану середовища V_t та системи Y_t в момент часу t , R_{U_t} – величина, оцінююча кінцевий результат керуючого впливу, Y_t^1 – вихідний стан системи на момент t . В такій моделі кожній трійці $\langle C_u, R_{U_t}, Y_t^1 \rangle$ ставиться у відповідність певний результат управління Y_t' . Цей результат управління, досягнутий в певній ситуації, порівнюється з метою і створюється відповідна стратегія управління U_t . При цьому може навіть змінюватися структура системи, керовані параметри.

У підсистемах автоматизованого управління, з метою найбільш ефективного вирішення завдання, може здійснюватися додаткове управління змінами за часом за певним законом змінних параметрів [5].

Процес функціонування системи будується у вигляді графа (рис. 3.1). Зазвичай розглядається кілька варіантів, виходячи з ідей, що закладаються до складу системи, схеми функціонування з урахуванням порядку і послідовності операцій. Це будуть альтернативні графи, що описують множину всіх

допустимих алгоритмів реалізації процесу функціонування системи; виконується їх спрощення. Далі виконується аналіз елементів, зв'язків, керованості тощо. Потім знаходять показники, які характеризують структуру, і в першу чергу, орієнтовні параметри її елементів (вершин), виходячи з вимог до системи. У кожній вершині виконується певне функціональне перетворення $Y^K = F^K(X^K, U^K)$ і для неї задається вектор стану X^K за яким знаходиться той або інший заданий вимогами до системи параметр.

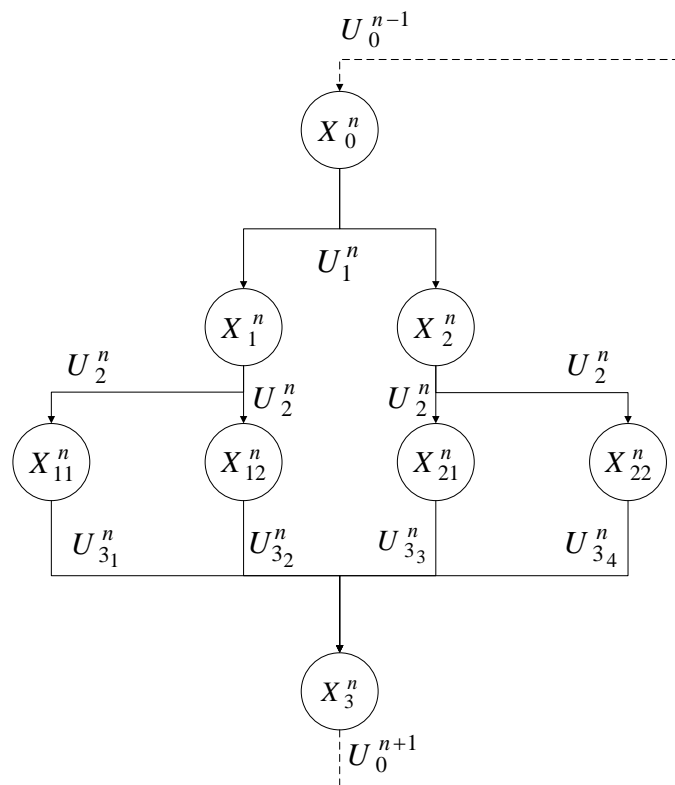


Рис. 3.1 – Граф функціонування підсистеми обробки зображення та прийняття рішень

На графі наведено наступні позначення: U_0^n – отримання n-го кадру зображення; X_0^n – отримано кадр зображення; U_1^n – обробка зображення; X_1^n – об'єкт зафіксовано; X_2^n – об'єкт не зафіксовано; U_2^n – ідентифікація параметрів об'єкта; X_{*1}^n – відомі попередні дані про об'єкт; X_{*2}^n – невідомі попередні дані про об'єкт; U_{31}^n – продовження супроводу; U_{32}^n – взяття до супроводу; U_{33}^n – екстраполяція даних з розширеним стробом; U_{34}^n – передача сигналу про втрату об'єкта; X_3^n – рішення передано до виконання; U_0^{n+1} – отримання наступного кадру.

Оптимізація структури може бути проведена за різними її показниками, проте структура не завжди може оцінюватися за тими ж показниками, що і система в цілому. В [5] рекомендується робити оцінку показників системи при даній структурі, або вважати, що ці показники задовольняють вимогам. Зазвичай простіше зробити оцінку структури спочатку за рядом вказаних характеристик, вибрати найбільш відповідні, а далі вже проводити дослідження і обґрунтування оптимального варіанта побудови СТС.

При функціональному описі системи виявляються вхідні та вихідні характеристики системи, в тому числі різні випадкові збурення, параметри активної протидіючої системи, основні параметри системи, що підлягають підбору (Р), параметри законів управління, варіювання яких дозволить вирішити задачу оптимального проектування системи за комплексом показників якості. Функціональне описування має ієрархічну схему і повинно відображати ієрархію функцій, процеси і параметри системи [15]. Рекомендується наступний раціональний шлях формування функціонального описання: опис більш високого рівня ґрунтується на узагальнених змінних нижчого рівня.

Для систем, що розвиваються важливим аспектом функціонального вивчення є опис зміни структури системи, тобто опис можливої мінливості і перебудови системи в процесі функціонування. При цьому досить суттєво оцінити моменти такої перебудови, потрібну інформацію, характер перебудови, тобто логіку закону управління зміною структури системи.

Із зазначеного слід відмітити, що функціональне описання і, взагалі, побудова моделі можлива також лише після вивчення та побудови схеми часової взаємодії підсистем [11, 16-19]. Така схема будується за прийнятою послідовністю вирішення окремих завдань з урахуванням мережевої моделі цілей і завдань, що вирішується системою.

Моменти потактового переходу системи можуть визначатися:

- зміною прийнятого рішення щодо виконання системою поставлених цілей і завдань;

- командами управління розвитком системи;
- підключенням і відключенням окремих підсистем в процесі виконання певного завдання;
- зміною зовнішньої обстановки або (і) внутрішнього стану системи, пов'язаного з витратою тих чи інших ресурсів.

Упорядкувавши моменти потактового переходу системи з одного стану в інший, отримуємо часову послідовність виконання процесу функціонування системи в цілому.

Слід зазначити, що для побудови моделі необхідно отримати співвідношення, по можливості формалізовані, по тактам для всіх підсистем.

Розкриття співвідношень для підсистем проводиться при розгляді конкретної СТС, співвідношення залежать від фізичної природи завдань, що вирішуються підсистемою. Деякі загальні рекомендації по складанню такої часової схеми взаємодії, складання опису підсистем, моделей можна знайти в багатьох роботах, наприклад [5, 11, 25].

Схема часової взаємодії системи, опис її функціонування спільно з усіма можливими аналітичними та іншими, особливо, алгоритмічними співвідношеннями, що визначають порядок і функціональні залежності між характеристиками підсистем, системи в цілому, по суті, складають алгоритми функціонування системи. Саме алгоритми функціонування є тією системою, на основі якої будується реальна СТС. Отже, варіанти алгоритмів є відображенням варіантів ідей побудови СТС, що, в свою чергу, повинно бути відображено в структурі системи. У кібернетиці саме сукупність правил або обмежень, які визначають порядок чергування окремих операцій для отримання певного результату, називають алгоритмом. Опис функціональної схеми як раз і має на меті створення алгоритмів функціонування підсистем і СТС в цілому.

В результаті всієї цієї роботи створюються чисельні алгоритми, що описують порядок проходження арифметичних дій, а також логічні алгоритми, коли інструкція про спосіб дії виражається символами. По суті, це

вже підготовка даних для виконання третього етапу - створення математичної моделі.

Проектування алгоритмів починається зі з'ясування розв'язуваних ними цілей і завдань, формування основних функцій алгоритмів в системі, встановлення обмежень, вибору і обґрунтування критеріїв оцінки алгоритмів, виходячи з прийнятих критеріїв функціонування СТС в цілому. Зазвичай рекомендується наступна послідовність розробки алгоритмів [20]:

1. Визначення призначення та основних функцій алгоритму;
2. Розробка формульних і іншого роду схем подання алгоритмів та їх перетворення до виду, зручного для оцінки вимог до засобів, що реалізують алгоритм. Як правило, для вирішення того чи іншого завдання повинно бути розглянуто кілька схем алгоритмів;
3. Автономне налагодження окремих алгоритмів або блоків алгоритмів, перевірка моделюванням їх працездатності з оцінкою ефективності;
4. Складання, при необхідності, та оптимізація комплексного алгоритму послідовного вирішення ряду завдань. Оптимізація, з огляду на складність, також проводиться дискретним вибором компромісного комплексного алгоритму з розглянутої множини можливих варіантів, складених з варіантів алгоритмів розв'язання відповідних операцій – етапів.

Після проектування і налагодження алгоритмів вирішується друге завдання - формування вимог і визначення складу засобів, що реалізують в СТС відповідні алгоритми з урахуванням їх практичної реалізації, та розробка програмного забезпечення.

Сукупність ефективних систем становить область ефективних альтернатив – $M_{\text{еф}}$ (рис. 3.2). Варіанти, що входять в $M_{\text{еф}}$, відповідають умові сильної строгої переваги. Зрозуміло, що оптимальною системою S_0 може бути одна з ефективних систем.

У разі виродженого завдання одна єдина система забезпечує оптимум по кожному прийнятому показнику якості, отже, необхідності у виборі компромісного рішення немає. При суперечливості вимог до системи з боку

показників k_v такі випадки практично не зустрічаються. Якщо ж ефективних альтернатив декілька, то питання вибору оптимальної системи залишається відкритим і вимагає використання додаткової інформації із застосуванням евристики, залученням оператора до вирішення завдання.

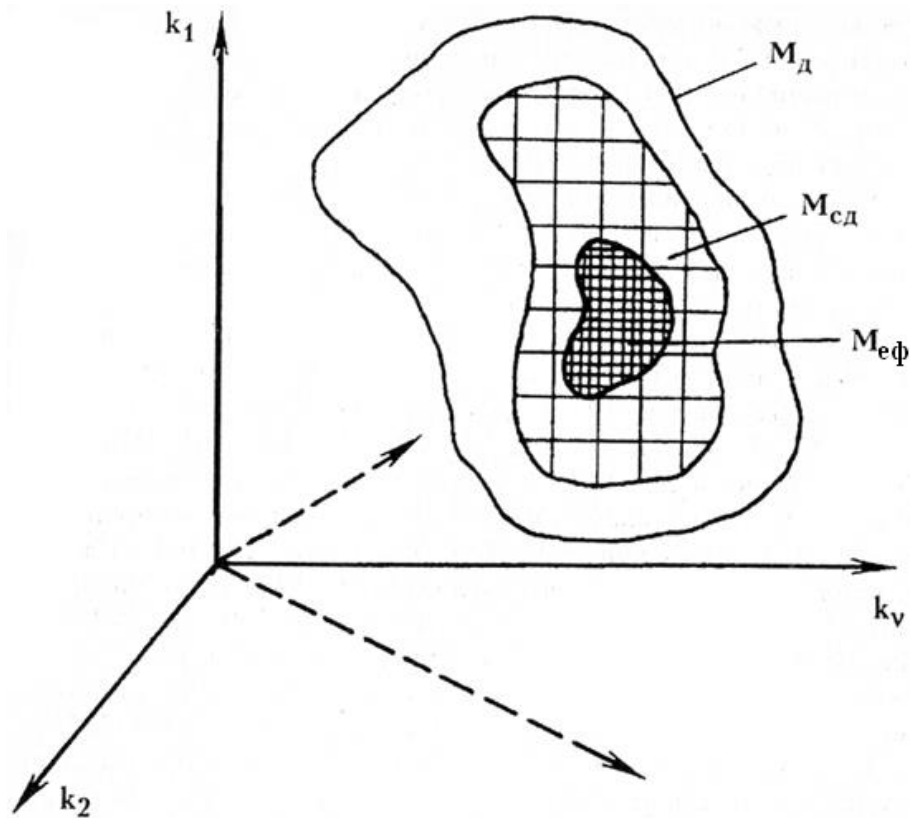


Рис. 3.2 – Области варіантів побудови системи: допустима M_d , строго допустима $M_{сд}$ і ефективна $M_{еф}$

Прийняття складного рішення в разі векторної оптимізації зводиться до знаходження такої альтернативи S_0 з множини $M_{еф}$, яка може і не бути оптимальною за жодним з показників якості, але виявляється прийнятною для всієї множини показників якості k_v , тобто до знаходження компромісної альтернативи, яка і буде оптимальною. Таким чином, постає завдання формування поняття прийнятності рішення за сукупністю показників якості, яким може бути будь-який КП.

Якщо в M_d входить порівняно невелика кількість варіантів (10 - 20), то головна увага приділяється розробці процедури порівняння альтернатив. Таке

завдання називають завданням багатоатрибутного прийняття рішення [5, 27]. Однак при багатокритеріальному завданні кількість допустимих варіантів велика, отже, множини M_d , M_{cd} важкодоступні. В цьому випадку істотним є вирішення завдання попереднього відсіву варіантів, звуження множин M_d варіантів до M_{ef} . Порівняння різних варіантів по комплексу критеріїв дозволяє звужити область можливих (допустимих, строго допустимих) варіантів до області ефективних рішень, але не дає ще оптимального вирішення. Тому вивчення області ефективних варіантів необхідно, перш за все, з точки зору визначення оптимального рішення. Для вибору єдиного оптимального варіанту з усієї множини ефективних варіантів в кожному конкретному багатокритеріальному завданні необхідно використовувати додаткову інформацію про мету функціонування системи, тобто таку інформацію, яку не отримують при заданні лише векторного критерію K без вказівки відносної важливості окремих показників, їх взаємного співвідношення.

Отже, при системних дослідженнях та проектуванні СТС за комплексом показників якості в доповнення до зазначених необхідно вирішення наступних завдань: нормування показників якості, тобто введення таких величин, які б дозволили порівняти критерії якості різної розмірності; врахування нерівноцінності критеріїв якості; формування поняття прийнятності рішення за сукупністю показників якості, що зводиться до обґрунтованого вибору КП; розробка методів і відкидання варіантів комплексів, модифікацій елементів технічних реалізацій, що не дозволяють створювати системи, що відповідають пред'явленим до них вимогам; визначення сукупності ефективних варіантів; створення СТС з найбільшим системним ефектом; розробка теорії і обчислювальних процедур пошуку компромісного рішення, в тому числі для систем, що працюють в різних умовах (оптимізація по матриці показників якості).

Розглянемо особливості вирішення завдання обґрунтування оптимальної структури і параметрів системи при дискретній оптимізації СТС. У разі дослідження і проектування СТС при скалярній оптимізації, коли

вдається отримати спрощену залежність, ці завдання вирішуються безпосередньо в два етапи: етап визначення оптимального оператора з підбором відповідної структури системи і етап обґрунтування оптимальних параметрів – параметрів, що варіюються. При векторній дискретній оптимізації СТС ці завдання вирішуються зовсім по-іншому. При системному проектуванні на основі дискретної оптимізації досліджувані варіанти системи можуть формуватися або на основі застосування готових або розроблювальних елементів технічної реалізації та алгоритмів з відомими параметрами, або на основі гіпотетичних елементів і алгоритмів з деякими можливими бажаними параметрами управління. Отже, при визначенні оптимального варіанту S_0 побудови СТС одночасно вирішується завдання вибору структури і основних варійованих параметрів. Більш того, оскільки кожен розглянутий варіант системи має певну структуру, то визначивши оптимальний варіант S_0 , одночасно можна знайти оптимальну структуру і відповідні основні варійовані параметри P з $X \in Q_x$, що забезпечують найкращі показники якості проектованої системи, в тому числі і показники функціонування.

З аналізу всіх зазначених завдань, які повинні вирішуватися в разі дослідження, синтезу і функціонально-структурного проектування СТС на основі дискретної оптимізації, видно, що їх можна об'єднати в наступні основні групи:

1. Обґрунтування комплексу показників якості, прийнятих для оцінки варіантів побудови системи;
2. Формування можливих або допустимих (при наявності обмежень O_x , O_s) варіантів побудови системи;
3. Моделювання і розрахунок показників якості;
4. Вибір методу оптимізації;
5. Визначення області ефективних варіантів, в тому числі з урахуванням обмежень на основні параметри, що підлягають оптимізації, і критерії;

6. Вибір оптимального (компромісного) варіанту за сукупністю критеріїв;

7. Облік особливостей оптимізації та управління СТС, розміщеної на кількох об'єктах;

8. Особливості векторної оптимізації в великих ергатичних системах.

Завдання оптимізації та проектування СТС може вирішуватися на різних рівнях: як стосовно системи в цілому, так і окремим або сукупності функціональних комплексів.

Методи багатокритеріальної оптимізації істотно складніші. Тому часто в цілях спрощення рішення багатокритеріальне завдання зводять до однокритеріального. Однак в загальному випадку вимагається оптимізація СТС і визначення її вигляду на основі розгляду всього комплексу критеріїв $\langle K \rangle$, що відображають вимоги, які пред'являються до системи, і коли кожен з них виступає самостійно.

Отже, у випадку раціонального проектування рішення може бути вибрано на основі аналізу ефективних варіантів області $M_{\text{еф}}$ та визначення компромісного варіанту із застосуванням будь-якого КП.

Повний алгоритм роботи системи ТрС представлено в додатку В. Цей алгоритм працює в наступному порядку: перш за все система може працювати в декількох режимах – ручного, напівавтоматичного та автоматизованого управління. На початку роботи система проводить спостереження зовнішнього середовища, дані (візуальне та теплове зображення) з оптико-електронного модуля подаються на екран пульта управління, де оператор має змогу спостерігати та візуально виявляти необхідні об'єкти спостереження.

Далі оператор може проводити супровід спостережуваного об'єкта в ручному режимі, або обрати напівавтоматичний чи автоматизований режим роботи. При спостереженні нерухомого об'єкту оператор вмикає напівавтоматичний режим, що включає в себе систему зворотного зв'язку першого рівня – використання блоку гіроскопічних пристроїв. Використовуючи показники вертикального та горизонтального

гіротахометрів, а також акселерометрів для розрахунку свого зміщення – блок управління формує управляючі сигнали для відповідних механічних приводів об'єкту управління, що забезпечує стабілізацію лінії візування та захист системи від впливу зовнішніх дестабілізуючих факторів, що виникають при русі платформи.

При спостереженні рухомого об'єкту – оператор перемикає систему на автоматизований режим роботи – вмикається система зворотного зв'язку другого рівня, що являє собою інформаційну систему з підсистемою ідентифікації параметрів спостережуваного об'єкта (швидкість, прискорення, кут місця тощо), підсистему супроводу рухомого об'єкта з функцією екстраполяції його подальших координат та підсистему відеосупроводження траєкторії руху спостережуваного об'єкту у випадку тимчасової втрати його з поля зору.

Використання такої методики дозволить забезпечувати достатню точність та швидкодію систем траєкторного стеження та достатню достовірність даних для систем прийняття рішень при збереженні достатньої швидкодії.

3.2 Синтез математичної моделі системи

Для побудови математичної моделі траєкторії спостережуваного РО було використано набір опорних точок в певній СК та з заданими параметрами руху. Зазначимо умови і обмеження такої математичної моделі: рух РО розглядається як рух матеріальної точки - центру мас даного РО, а моделювання виконується в межах обраної системи координат.

Одним з методів вирішення завдання екстраполяції траєкторії спостережуваного об'єкта є згладжування курсу РО. Враховуючи, що коефіцієнт взаємної кореляції між площинними координатами при невеликому куті місця приймає значення менше 0,1 [33], курс РО було розділено на вертикальний та горизонтальний канали, кожний з яких може опрацьовуватися окремо без відчутних втрат точності.

Для вирішення цієї задачі у [8, 34, 35] запропоновано застосувати методи експоненціального згладжування та фільтр Калмана оскільки він є достатньо простими та ефективними.

Задачі фільтрації та екстраполяції параметрів траєкторії спостережуваного об'єкта сформулюємо як задачу оцінювання вектора стану динамічної системи, рівняння стану якої відповідає характеру її руху. Для вирішення цієї задачі в [37] пропонується використання рекурентних алгоритмів, а саме експоненційного згладжування та фільтру Калмана. Завдяки своїй простоті, ці інструменти зручно реалізувати у комп'ютерних системах.

В загальному випадку послідовність значень маневру об'єкта спостереження представляється як білий шум з математичним очікуваннями, рівним нулю, та дисперсією $\sigma_{g\theta}^2$, $\theta = \{x, y, z\}$. При рівномірних, дискретних вимірюваннях коефіцієнти фільтра Калмана A_n та B_n/T_0 застосовуються як постійні коефіцієнти $A = \alpha$ та $B = \beta$, що отримало назву α, β -фільтрів. Схема алгоритму фільтрації з використанням постійних коефіцієнтів фільтра Калмана, α, β -фільтри [28] для однієї окремої координати представляється у вигляді наступних формул:

$$\begin{aligned}\hat{x}_n &= \hat{x}_{n^*} + \alpha(x_n - \hat{x}_{n^*}), \\ \hat{x}_n &= \hat{x}_{n-1} + \beta(x_n - \hat{x}_{n^*})/T_0, \\ \hat{x}_{n^*} &= \hat{x}_{n-1} + \hat{x}_{n-1}T_0,\end{aligned}\tag{1}$$

де n – крок вимірювання, $n - 1$ – попередній крок вимірювання, n^* – екстрапольовані (прогнозовані) на крок n дані, x_n – виміряна координата на кроці n , \hat{x}_n – розрахована (прогнозована) координата на кроці n , \hat{x}_{n^*} – швидкість зміни координати за один крок (період) вимірювання T_0 .

Алгоритм визначений формулами (1) є дискретною системою автоматичного управління зі зворотнім зв'язком та постійними коефіцієнтами згладжування α та β . Така система має певні характерні ознаки: перехідний

процес, стійкість, випадкові та динамічні похибки в установленому режимі роботи. Розглянувши дослідження алгоритму фільтрації [37], можемо визначити:

Для мінімізації динамічної похибки екстраполяції координати, в [37] запропоновано наступне співвідношення:

$$\beta = \alpha^2 / (2 - \alpha). \quad (2)$$

Значення α та β слід обирати виходячи з вимоги попадання з заданою ймовірністю ($p=0,95$) в строб супроводу траєкторії рухомого об'єкта, для чого отримано рівняння:

$$\frac{g_M T_0^2}{\sigma_{x_n}} = \left(\frac{L}{2\sigma_{x_n}} - c \sqrt{\frac{6\alpha - 5\alpha^2}{8 - 8\alpha + \alpha^2}} \right) \frac{\alpha^2}{2 - \alpha} \quad (3)$$

де g_M – функція інтенсивності маневру, T_0 – період отримання кадрів, σ_{x_n} – середньоквадратичне відхилення вимірювання координати x , L – ширина сторони строба, c – коефіцієнт надійності, α – коефіцієнт згладжування фільтра Калмана.

На рис. 3.3 приведено номограми залежності $g_M T_0^2 / \sigma_{x_n}$ від коефіцієнта α при різних значеннях параметра $q = L / 2\sigma_{x_n}$ при $c = 2$ (рис. 3.3а) та $c = 3$ (рис. 3.3б).

При відомому значенні періоду отримання кадрів T_0 та нормалізованому розмірі кадру q відповідно до номограми (рис. 3.3) визначаємо значення α , як функцію інтенсивності маневру g_M та застосовуємо обраний коефіцієнт для розрахунку екстрапольованого значення координати об'єкта спостереження на наступному кроці.

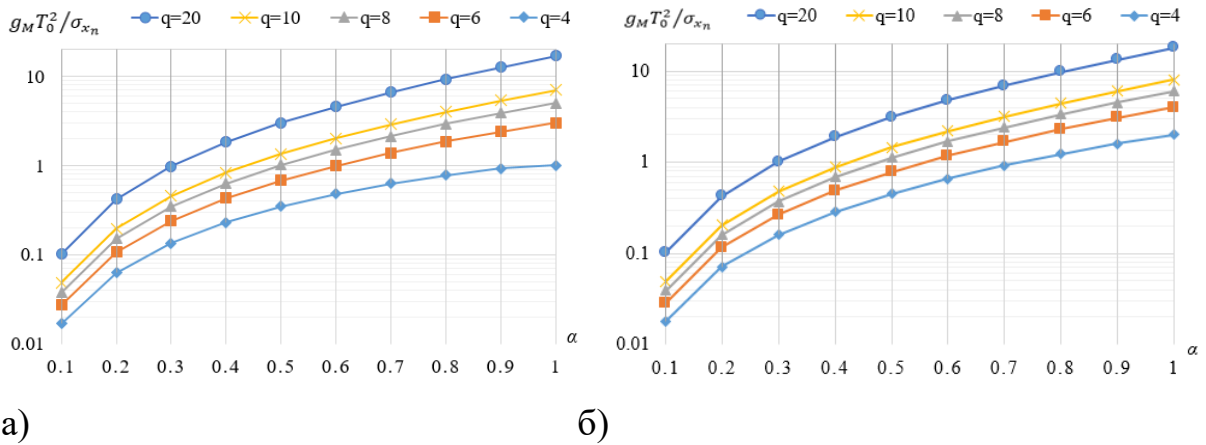


Рис. 3.3 – Номограми залежності $g_M T_0^2 / \sigma_{x_n}$ від коефіцієнтів: згладжування α при різних значеннях параметра $q = L/2\sigma_{x_n}$ та надійності c : а) при $c = 2$, б) при $c = 3$

3.3 Багатокритеріальна оптимізація обробки інформації в підсистемі траєкторного стеження

При виборі критеріїв втрати об'єкта будемо виходити з певного еквіваленту кількості інформації, накопиченої за час супроводження траєкторії рухомого об'єкту. Цю інформацію можемо охарактеризувати точнісними характеристиками екстраполяції положення спостережуваного об'єкта за даними попередніх вимірювань. Із зростанням кількості пропусків відміток, невизначеність прогнозування подальших відміток зростає, що призводить до необхідності збільшувати розміри строга. За певну кількість пропусків (як один за одним, так і при поперемінно втрачаючи об'єкт спостереження з поля зору) розміри строгу супроводження досягають розміру первинного захоплення. Відповідно подальше збільшення строгу є недоцільним. Отже, оптимальним критерієм скидання супроводження визначимо умову

$$S_n \leq S_{max}$$

де S_n – розмір строгу супроводження на кроці n , S_{max} – розмір строгу при первинному захопленні (максимальний).

Розглянемо дисперсію сумарного відхилення вимірювання координат позначки об'єкта від центра стробу у вигляді:

$$\sigma_{\hat{x}}^2 = \sigma_{\hat{x}_{n-1}}^2 + \sigma_{x_n}^2 = \sigma_{x_n}^2 \left(1 + \frac{\sigma_{\hat{x}_{n-1}}^2}{\sigma_{x_n}^2} \right),$$

де $\sigma_{x_n}^2$ – дисперсія похибки вимірювання координати x_n .

Визначимо $\frac{\sigma_{\hat{x}_{n-1}}^2}{\sigma_{x_n}^2}$ як K^2 – точнісний критерій втрати об'єкта та задаємо певне граничне значення $K_{гр}^2$. Тобто, при виконанні умови $K^2 > K_{гр}^2$ процес супроводження завершується скиданням.

Розрахунок $K_{гр}^2$ може бути розраховано за умовою рівності розміру вимірюваного та первинного стробів, та враховуючи відомі характеристики руху спостережуваного об'єкту:

$$K_{гр}^2 = \left(\frac{\dot{x}_{max} * T_0}{\lambda * \sigma_x} \right)^2 - 1,$$

де \dot{x}_{max} – максимальне значення швидкості координати руху об'єкту спостереження за координатою x , σ_x – середньоквадратична похибка вимірювання координати x , λ – коефіцієнт збільшення розмірів строба (визначмо його на основі максимального зміщення об'єкта спостереження за один крок: $\lambda = 2 * \frac{\dot{x}_{max} * T_0 + \sigma_x}{\dot{x}_{max} * T_0}$ зазвичай в діапазоні від 2 до 3).

Також визначимо порогове значення стійкого супроводження, що для фільтра Калмана визначається близьким до точності вимірювання координати, тобто $K_{ст}^2 \approx 1$.

Застосовуючи обидва вищезазначені порогові значення можемо визначити процес роботи системи супроводження між цими пороговими значеннями з наступними можливими станами:

1) Точка знаходиться між граничними значеннями, що відповідає режиму нестійкого супроводження;

2) При екстраполяції досягається точність близька до вимірюваного значення, що відповідає режиму стійкого супроводження;

3) Очікувана похибка більша за початковий строб, що робить супровід недоцільним, та відповідає режиму скидання супроводження.

Розглянемо процес роботи системи супроводження траєкторії між критерієм стікого супроводження та граничним критерієм скидання траєкторії при досягненні $K_{гр}$ пропусків підряд. Алгоритм супроводу можемо описати наступною схемою (рис. 3.4).

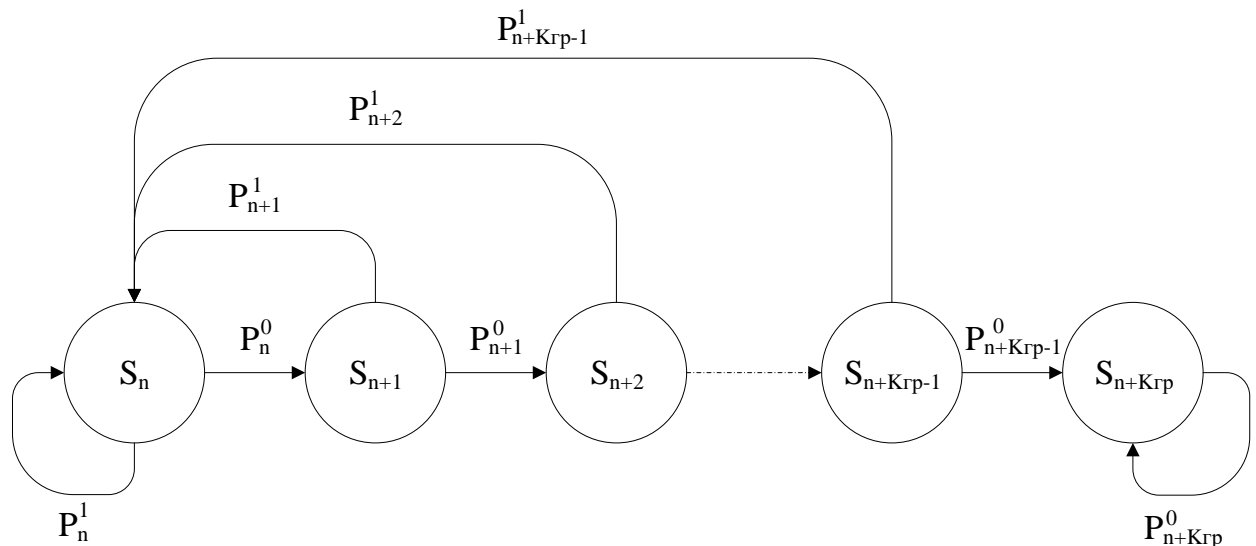


Рис. 3.4 – Граф функціонування системи супроводження траєкторії зі скиданням по досягненню критерія $k_{гр}$ пропусків

При описі станів та переходів графа роботи системи супроводження можемо виділити наступні режими роботи:

1) Режим стійкого супроводження, система знаходиться в вихідному стані S_n , що досягається при фіксації режиму супроводження;

2) Режим не стійкого супроводження, відповідає одному з станів $S_{n+1} - S_{n+K_{гр}-1}$;

3) Режим скидання траєкторії, досягається, коли кількість пропусків досягло граничного рівня критерію $K_{гр}$, та система переходить в стан скидання супроводження $S_{n+K_{гр}}$.

3.4. Розробка методу визначення оптимальних параметрів у складних технічних системах

Одним з важливих моментів досліджень, що проводяться при обґрунтуванні технічного вигляду СТС, є вибір параметрів функціональних модулів (ФМ), що визначають концепцію проєктованої СТС. Технічна система може бути визначена великим числом параметрів і характеристик, які умовно можна розділити на ті, що оптимізуються та на розрахункові.

Першу групу складають параметри, які на етапі формування технічного вигляду підлягають оптимізації за своїм якісним складом і чисельним значенням. Друга група параметрів знаходиться розрахунковим шляхом за відомими залежностями від параметрів, що оптимізуються та за іншими конструктивно-технічними характеристиками системи.

Повний облік параметрів системи, що визначають якість системи, привів би до невиправданого ускладнення критеріальних функцій і до надмірних труднощів вирішення оптимізаційного завдання. Будь-яка система в цілому може бути охарактеризована деякими основними показниками - основними параметрами (наприклад, для літального апарата це початкова маса, площа крила, тяга силової установки).

Однак оптимізація СТС безпосередньо за основними параметрами у зв'язку з досить складною залежністю від параметрів, що складають в тому числі й ФМ, неможлива. Тому завдання полягає в тому, щоб знайти такі параметри ФМ, які однозначно визначали б основні параметри системи в цілому і дозволяли обґрунтувати їх оптимальні значення за обраними критеріальними оцінками. Тому очевидним є пошук найбільш інформативних параметрів ФМ - координат простору, в якому буде здійснюватися оптимізація обраних критеріїв.

Завдання це вирішується логічно, проте якісний і кількісний склад таких параметрів ФМ доцільно визначати, використовуючи принцип достатності, відповідно до якого прийнятною кількістю оптимізуємих параметрів ФМ вважається таке, починаючи з якого значення кількісного показника якості не змінюється при завданні фіксованих умов функціонування системи. Обрані таким чином параметри, що оптимізуються, визначають генеральну ідею, концепцію створення і використання проекрованої СТС (їх називають іноді концептуальними параметрами).

Знаючи оптимальне значення критерію $K(x)$, а також область існування $x \in X$, можна визначити єдиний набір основних параметрів системи x' , що однозначно визначають вигляд проекрованої системи.

У випадку виконання завдання на основі аналізу отриманої області $M_{\text{сф}}$ шляхом зіставлення отриманих значень x' з заданими діапазонами зміни цих характеристик ($\min x_j, \max x_j$) оцінюється приналежність і прийнятність отриманого оптимального рішення області ефективних рішень. У тому випадку, коли рішення є неприпустимим, необхідно скорегувати це рішення з урахуванням заданої системи параметричних обмежень.

Таким чином, при пошуку оптимального рішення необхідно враховувати обмеження, які накладаються на параметри, що оптимізуються. Один з методів визначення координат оптимальних рішень з урахуванням обмежень, заснований на принципі множників Лагранжа, запропоновано в роботах Зіатдінова Ю.К. [22-23].

Визначимо оптимальні параметри системи при наявності явних обмежень.

Позначимо через $x = (x_1, \dots, x_q)$ вектор параметрів системи, $x \in X$. В даному випадку X еквівалентно $M_{\text{д}}$.

Припустимо, що зовнішні умови, що впливають на функціонування системи, відомі і фіксовані. Тоді векторний критерій функціонування технічної системи $\{k_v(x)\}, v = \overline{1, m}$ являється функцією тільки проектних параметрів $x \in X$. Завдання оптимального проектування в разі мінімізації

векторного критерію полягає в знаходженні вектору проектних параметрів

$$x^* \in \arg \min_{x \in X} K(x);$$

$$\arg \min_{x \in X} K(x) = \left\{ x \in X \mid K(x) = \min_{x \in X} K(x^*) \right\}.$$

Якщо технічна концепція системи визначена, то відомо оптимальне (в даному випадку мінімальне) значення векторного критерію $K(x)$ і коефіцієнти A_0, A_1, A_2 полінома, що апроксимують даний критерій (по кожному k_v критерію, $v = \overline{1, m}$)

$$K(x) = A_0 + 2A_1x + x^T A_2x.$$

Знаючи область існування паретооптимальних варіантів системи $M_{\text{еф}}$, можна визначити єдиний набір проектних параметрів x^* , що однозначно визначають відповідний вигляд перспективної системи.

Зіставляючи отримані значення x^* з заданими діапазонами зміни цих характеристик $[\min x, \max x]$, оцінюється приналежність отриманого оптимального рішення до області допустимих рішень $M_{\text{д}}$. У тому випадку, коли рішення є неприпустимим, необхідно скорегувати це рішення з урахуванням заданої системи параметричних обмежень

$$\min x_j \leq x_j \leq \max x_j, j \in [1, q].$$

Ефективним в цьому випадку є метод, що базується на принципі Лагранжа. Він передбачає перетворення системи координат в просторі проектних параметрів і в цьому, вже перетвореному просторі вирішення простої системи рівнянь. Схема розв'язання завдання при такому підході можна представити у наступному вигляді, відображеному на рис.3.5:

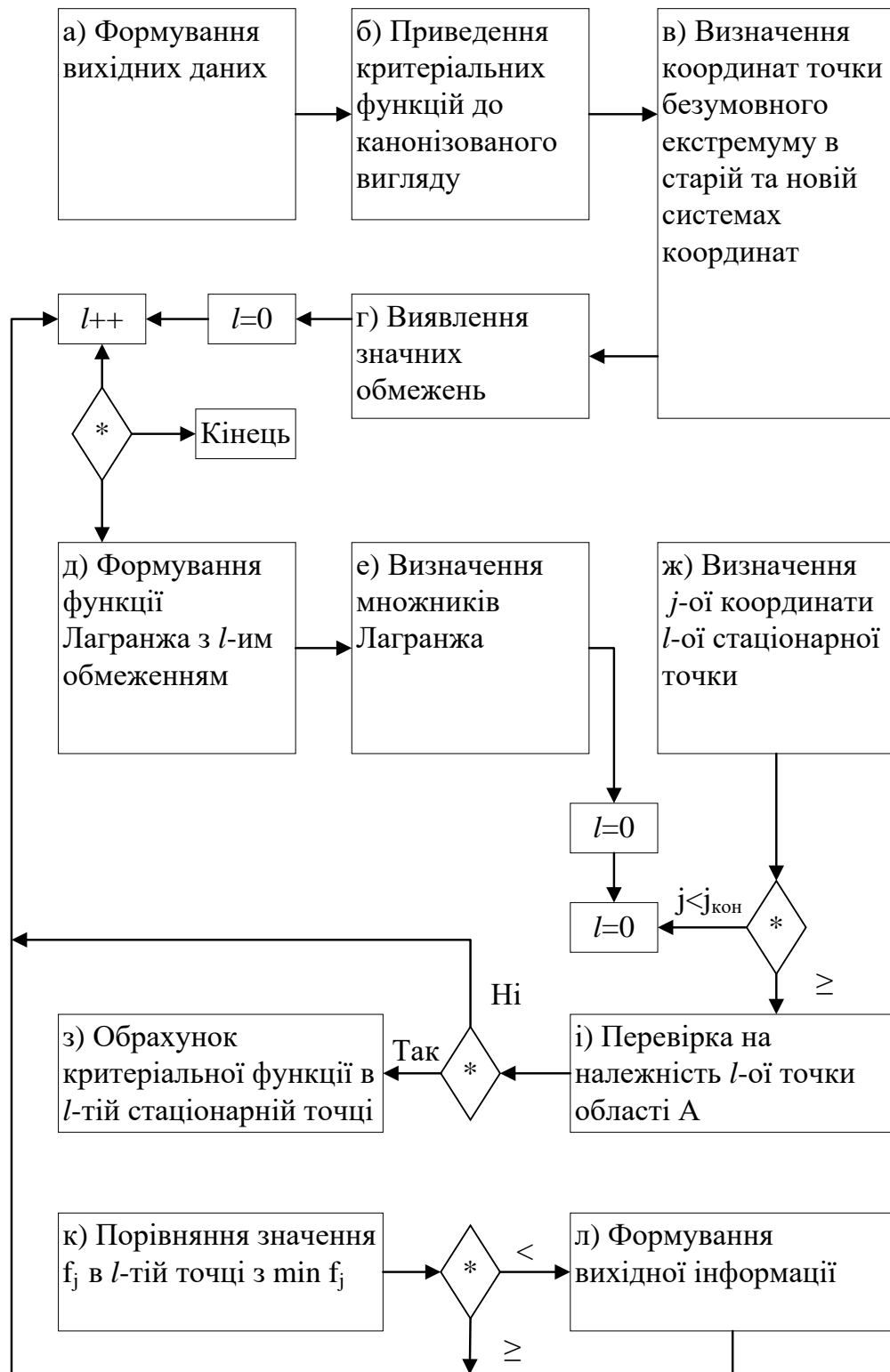


Рис. 3.5 – Схема розв'язання завдання пошуку оптимальних параметрів при наявності обмежень

На першому етапі (рис. 3.5, блок «а») визначаються координати безумовного мінімуму критеріальної функції з використанням правил матричного диференціювання (по кожному k_v):

$$\frac{\partial K(x)}{\partial} = 2A_1^T + x^T A_1 = 0,$$

$$x = -2A_1^T A_2^{-1}.$$

Якщо точка мінімуму належить до області допустимих рішень, то завдання виконане. В іншому випадку необхідно перейти до другого етапу).

На другому етапі (рис. 3.5, блок «б») вихідна поліноміальна критеріальна функція приводиться до канонічного виду:

$$K = \sum_i \mu_i \xi_i^2, i \in [1, q].$$

При цьому відомими методами здійснюється перехід від вихідної системи координат $\{x\} = \{x_1, x_2, \dots, x_q\}$ до реформованої системи $\{\xi\} = \{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_q\}$, обчислюються власні значення $\{\mu\} = \{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_q\}$ і власні вектора $R = \{r_{k1}\}$, а також матриці коефіцієнтів $A = [\alpha_{k1}]$ критеріальної функції.

Перерахунок координат будь-якої точки зі старої системи в нову здійснюється у відповідно виразу:

$$\xi_i = \sum_l r_{li} x_l, l, i \in [1, q].$$

На третьому етапі (рис. 3.5, блок «в»), за інформацією, отриманою на першому етапі, у новій СК визначаються координати точки безумовного екстремуму

$$\xi_i^* = \sum_l r_{li} x_l^*, l, i \in [1, q],$$

На четвертому етапі (рис. 3.5, блок «г») виділяються суттєві обмеження у вихідній та у реформованій СК:

$$g_i = \sum_i r_{i1} \xi_i - \bar{x}_j = 0, i \in [1, q], j \in [1, q].$$

На п'ятому етап (рис. 3.5, блок «д») вводимо функцію Лагранжа (лагранжіан), що відповідає j -му обмеженню в перетвореній СК за аналогією з третім етапом даного алгоритму:

$$L(\xi, \lambda) = \sum_i \mu_i \xi_i^2 + \lambda_j \left(\sum_i r_{ji} \xi_i - \bar{x}_j \right), \quad j, i \in [1, q].$$

На шостому етапі (рис. 3.5, блок «е») формуємо системи управління:

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial \xi_i} = 2\mu_i \xi_i + \lambda_j r_{ji} = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda_j} = \sum_i r_{ji} \xi_i - \bar{x}_j = 0 \end{cases}.$$

І та сьомому етапі (рис. 3.5, блок «ж») системи з попереднього етапу вирішуються відповідно до невідомих. Розв'язок системи рівнянь можна отримати в явному вигляді, оскільки:

$$\xi_i = -\lambda_j \frac{r_{ji}}{2\mu_i},$$

то останнє рівняння в системі для j -го обмеження набуває вигляду:

$$\lambda_j = \frac{2\bar{x}_j}{\sum_i \frac{r_{ji}^2}{\mu_i}}, \quad j \in [1, q],$$

та підставляється в систему. В результаті отримується співвідношення для визначення координат j -ї умовно оптимальної точки:

$$\hat{\xi}_i = -\frac{2\bar{x}_j}{\sum_{k=1}^q \frac{r_{jk}^{-2}}{\bar{\mu}_k}},$$

де $\bar{r}_{ji} = \frac{r_{jk}}{r_{ji}}$, $\bar{\mu}_k = \frac{\mu_k}{\mu_i}$, $j, k, i \in [1, q]$.

На восьмому етапі (рис. 3.5, блок «з») обчислюємо числові значення критеріальної функції в тих умовно оптимальних точках, які належать області допустимих рішень (рис. 3.2)

$$K = \sum_{i=1}^q \mu_i \hat{\xi}_i^2, \quad j \in [1, q],$$

та вибирається мінімальне значення, що визначає оптимальну точку (рис. 3.5, блоки «і», «к», «л»). Перехід до старої системи координат здійснюється відповідно до співвідношення:

$$\hat{x}_i = \sum_{k=1}^q r_{ik}^{-1} \hat{\xi}_k, \quad i \in [1, q],$$

де r_{ik}^{-1} - елементи оберненої матриці R^{-1} . Така обробка проводиться по кожному $v = \overline{1, m}$.

Слід зазначити, що методика врахування обмежень на параметри, що оптимізуються, залежить від прийнятого методу оптимізації.

При побудові області $M_{\text{сф}}$ у факторному просторі перевірка виконуваності обмежень на оптимізуемі параметри проводиться для кожного варіанту системи по точкам ЛП-т послідовності. Якщо значення параметрів,

що характеризують розглянутий варіант системи, не задовольняють обмеженням на параметри, то даний варіант виключається з аналізу. Сукупність варіантів системи, що залишилася, однозначно визначається оптимізуємими параметрами, що відповідають заданим обмеженням, та являють собою область M_d .

При методі послідовного аналізу з урахуванням обмежень на параметри до проведення оптимізації проводиться відсів тих варіантів, які не задовольняють обмеженням.

3.5. Комп'ютеризована система автосупроводження об'єктів

Для побудови комп'ютеризованої системи автосупроводження рухомих об'єктів використовуємо кути відхилень лінії візування від напрямку на об'єкт (рис. 2.9, 2.11). Система відеосупроводу базується на математичних сопроцесорах, що виконують необхідні математичні операції.

З виразів (2.16), (2.17) або (2.19), (2.20) випливає, що для реалізації керування приводами можна використовувати значення $\Delta\varphi$, $\Delta\theta$, які відіграють роль неузгодженостей у системах відеосупроводження, або абсолютні значення φ_p , θ_p , що визначають необхідні положення рамок кардана. Таким чином, є можливість двох варіантів побудови комп'ютеризованих систем відеосупроводження рухомих об'єктів (рис. 3.6 і 3.7) [28].

Перший варіант побудови КС із використанням неузгодженостей, обчислених по (2.16), (2.17), містить:

Обчислювальний пристрій (ОП), який включає блок обчислення координат (БОК) центру об'єкта, обчислювальний алгоритм, що виконує складну обробку зображення або послідовності відеокадрів. Результатами такої обробки є значення \tilde{N}_{X_p} й \tilde{N}_{Y_p} які отримані при вимірюванні координат N_{X_p} , N_{Y_p} центру об'єкта в прямокутній СК O_1, X_1, Y_1 оцифрованого зображення (рис. 2.10). Величини N і \tilde{N} обчислюються в пікселях матриці зображення.

Час запізнювання τ , витрачений БОК на обчислення \tilde{N}_{xp} й \tilde{N}_{yp} , враховується введенням елементів затримки на даний час, позначених на схемі прямокутниками з буквою τ . Функціональний перетворювач координат F_1 за поточними значенням $\tilde{N}_{xp}, \tilde{N}_{yp}, \tilde{\varphi}$, де $\tilde{\varphi}$ – обмірюване значення кута повороту внутрішньої рамки в момент фіксації поточного відеокадру за допомогою датчика кута D_φ , обчислює оцінки неузгодженостей напрямку на об'єкт і оптичної осі ВД у сферичній СК двоосьового привода, тобто відхилення $\Delta\tilde{\theta}$ й $\Delta\tilde{\varphi}$. Час, затрачуваний на перетворення координат, звичайно значно менше τ і надалі не враховується;

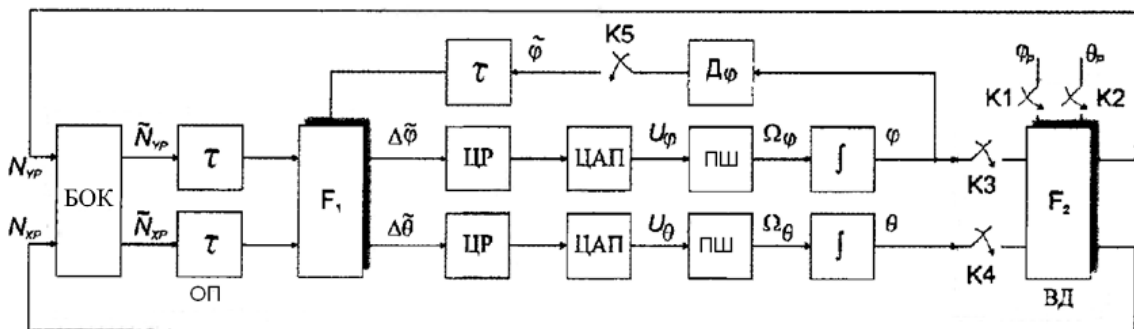


Рис. 3.6 – Функціональна схема реалізації КС з використанням неузгодженостей

Цифрові регулятори (ЦР) із цифроаналоговими перетворювачами (ЦАП), що формують необхідні закони управління відпрацьовуванням неузгодженостей в кожному каналі $\Delta\tilde{\theta}$ і $\Delta\tilde{\varphi}$. ЦАП видають керуючі напруги на відповідні приводи;

Електромеханічні приводи швидкості (ПШ), призначені для повороту рамок двоосьової карданної системи. Вони мають, як правило, негативний зворотний зв'язок по швидкості $\Omega_\varphi, \Omega_\theta$ зміни кутів повороту φ і θ відповідних рамок системи. Прямокутники на схемі з позначенням інтеграла визначають зв'язок кута повороту відповідної рамки з кутовою швидкістю її обертання;

Відеодатчик (ВД), представлений формально на функціональній схемі у

вигляді функціонального перетворювача F_2 , перетворює координати необхідного напрямку на об'єкт φ_p, θ_p і поточного напрямку оптичної осі ВД φ, θ у координати N_{Xp}, N_{Yp} центру об'єкта на зображенні. Перетворювач F_2 виконує обчислення відповідно до виразів (2.25), (2.26);

Синхронно працюючі ключі K_1, \dots, K_5 визначають моменти формування зображень у ВД і моменти виміру кута φ . Частота замикання ключів визначається частотою формування відеокадрів, та прийнята рівною $f_1 = 1/T_1 = 50$ Гц.

Другий варіант реалізації комп'ютеризованої системи, крім перерахованих елементів і вузлів, що показані в схемі на рис. 3.6, містить канал виміру кута повороту θ зовнішньої рамки, для чого в схему включений датчик кута D_θ , блок прогнозування (БП) для компенсації запізнювання у видачі необхідних кутів повороту рамок кардана й обчислення міжкадрових координат об'єкта із частотою $f_2 = 1/T_2 > f_1$. Прогнозування в БП здійснюється при отриманні у системі відеоспостереження чергового кадру зображення (момент часу t_0) на час $t_{\text{пр}i}$, який обчислюється по формулі $t_{\text{пр}i} = t_0 + \tau + i \frac{T_1}{K}$, де $i = 0, \dots, K - 1$; $\tau = f_2/f_1$, $K = 2, 3, 4, \dots$

Прогнозування кутових координат об'єкта можливе різними методами, наприклад, методом найменших квадратів, максимальної правдоподібності, сплайн-функціями тощо.

Затримані на час τ дискретні значення кутів $\tilde{\varphi}$ та $\tilde{\theta}$ подаються на перетворювач F_1 , для обчислення необхідних кутів повороту $\tilde{\varphi}_p$ та $\tilde{\theta}_p$. Вузли, що включають ЦР, ЦАП, ПШ, І, D_φ, D_θ , елементи порівняння, ключі K_7 і K_8 , що працюють на підвищеній частоті f_2 , представляють два слідкуючі приводи СП $_\varphi$ і СП $_\theta$, завданням яких є відпрацьовування видаваних на підвищеній частоті блоками прогнозу необхідних кутів азимута й місця рамок карданного підвісу.

При реалізації КС з застосуванням блоків прогнозування та компенсації (рис. 3.7) динамічні властивості системи в цілому визначаються динамічними властивостями слідкуючих контурів приводів СП $_\varphi$ і СП $_\theta$, які не включають

елементів запізнювання й працюють на підвищеній частоті дискретизації $f_2 > f_1$. При цьому коефіцієнти передачі зовнішніх стосовно СП_φ, і СП_θ, розімкнутих контурів керування близькі до одиниці, що дає можливість за допомогою блоків прогнозування компенсувати запізнювання τ у кожному контурі без втрати ними стійкості.

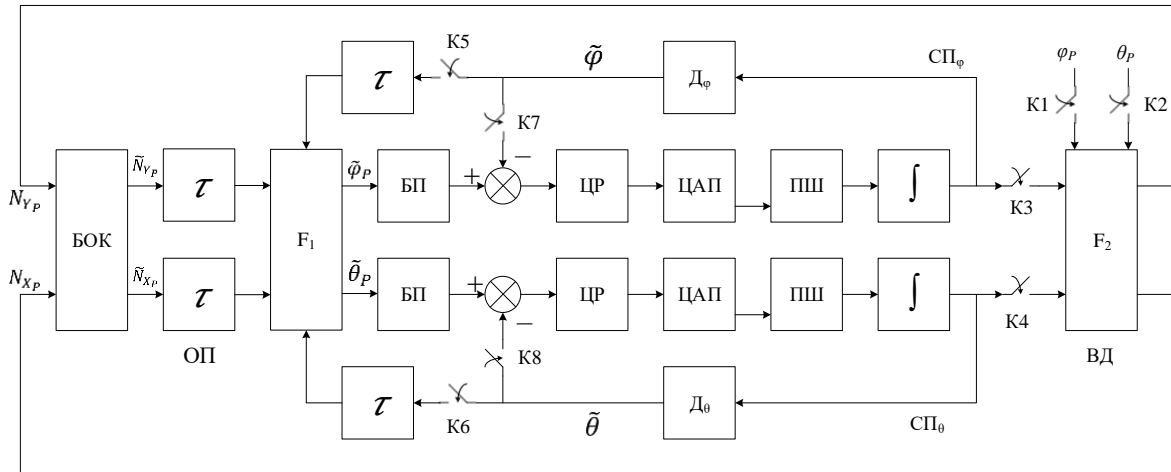


Рис. 3.7 – Варіант функціональної схеми реалізації комп'ютеризованої системи з блоками прогнозування та компенсацією

Можливості використання БП у цьому випадку обмежені наявністю помилок вимірювальних пристроїв (БОК, Д_φ, Д_θ), що носять випадковий шумовий характер, оскільки будь-який БП збільшує дисперсію зазначених помилок виміру.

Врахування даної обставини вимагає зваженого підходу при виборі варіанта реалізації КС. Відмова від використання БП у другому варіанті побудови приведе до того, що при високих динамічних показниках приводи, що стежать, СП_φ і СП_θ будуть добре відтворювати затримані на τ координати φ_P і θ_P .

У системах супроводження з різних причин є можливою короткочасна втрата інформації про положення об'єкта на зображенні. У цьому випадку на час зникнення сигналу потрібна організація керування приводами кардана по прогнозованій траєкторії руху об'єкта, що можливо при використанні другого варіанта СТС.

Висновки до розділу 3

1. Сформульовано етапи побудови моделі комп'ютеризованої системи траєкторного стеження у системі прийняття рішень, наведено граф цілей і завдань для функціонування підсистеми обробки зображення та прийняття рішень системи траєкторного стеження. Розроблено математичну модель обробки траєкторії руху спостережуваного рухомого об'єкту. Описано алгоритм роботи системи траєкторного стеження.

2. Встановлено основні показники багатокритеріальної оптимізації обробки інформації та прийняття рішень в системі траєкторного стеження. Розроблено метод розв'язання завдання оптимізації та основні групи завдань, що повинні вирішуватися при проектуванні. Розроблена математична модель вибору ефективного варіанту рішення та прийняття оптимального рішення.

3. Визначено шляхи отримання оптимального значення на основі проведеного аналізу параметрів функціонального комплексу складної технічної системи.

4. Запропоновано варіанти структурних схем системи автоматизованого супроводження об'єктів, різниця між якими полягає в застосуванні блоків запізнювання або появи випадкових шумів, що можуть збільшити дисперсію похибок.

Список використаних джерел

1 Шелуха А.О. Совершенствование структуры идентификации параметров сложных технических систем / А.О. Шелуха // Вісник Інженерної академії України. – 2015. – №2. – С. 173–176.

2 Квасніков В.П. Система захоплення та супроводу об'єктів в динамічних системах / В.П. Квасніков, О.О. Шелуха // Вісник Інженерної академії України. – 2015. – №4. – С. 80–83.

3 Шелуха О.О. Обробка інформації в системах стеження за динамічними об'єктами / О.О. Шелуха / Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості. – 2016. – №1. – С. 87–91.

- 4 Ржевський С.В. Дослідження операцій: Підручник / С.В.Ржевський, В.М. Александрова. – К.: Академвидав, 2006. – 560 с.
- 5 Большие технические системы: проектирование и управление / Л.М. Артюшин, Ю.К. Зиятдинов, И.А. Попов, А.В. Харченко. Под ред. И.А. Попова. – Харьков: Факт, 1997. – 400 с.
- 6 Hwang C. Multiple objective decision making methods and applications. A state-of-art-survey / C. Hwang, A. Vosud. – N.J.: Springer-Verlag, 1979. – 351 p.
- 7 Подиновский В.В. Паретооптимальные решения многокритериальных задач / В.В. Подиновский, В.Д. Ногин. – М.: Наука, 1982. – 232 с.
- 8 Таха Х.А. Введение в исследование операций / Х.А. Таха; [Пер. с англ.]. – [7-е изд.]. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 912 с.
- 9 Дубов Ю.А. Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов систем / Ю.А. Дубов, С.Н. Травкин, В.Н. Якимец. – М.: Наука, 1986. – 285 с.
- 10 Карлин С. Математические методы в теории игр, программировании и экономике / С. Карлин. – М.: Мир, 1964. – 838 с.
- 11 Михалевич В.С. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем / В.С. Михалевич, В.Л. Волкович. – М.: Наука, 1982. – 280.
- 12 Растрингин Л.А. Современные принципы управления сложными объектами / Л.А. Растрингин. – М.: Сов.радио, 1980. – 224 с.
- 13 Растрингин Л.А. Адаптация сложных систем / Л.А. Растрингин. – Рига: Знание, 1981. – 360 с.
- 14 Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем / Н.П. Бусленко. – М.: Наука, 1978. – 400 с.
- 15 Николаев В.И. Системотехника. Методы и приложения / В.И. Николаев, В.М. Брук. – Л.: Машиностроение, 1985. – 199 с.
- 16 Волкович В.Л. Многокритериальные задачи и методы их решения / В.Л. Волкович // Сложные системы управления. – К.: Наукова думка, 1969. –

Вып. 1. – С. 44-52.

17 Волкович В.Л. Системный подход при выборе управляющих вычислительных комплексов / В.Л. Волкович // УСиМ. – 1974. – № 6. – С. 73-77.

18 Волкович В.Л. Метод ограничений в задачах векторной оптимизации / В.Л. Волкович, Л.Ф. Даргейко // Автоматика. – 1976. – №3. – С.13-17.

19 Волкович В.Л. Человеко-машинная процедура поиска решений в задачах многокритериальной оптимизации / В.Л. Волкович, В.М. Войналович // УСиМ. 1979. – №5. – С. 24-28.

20 Кузьмин С.З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации / С.З. Кузьмин. – М.: Радио и связь, 1986. – 342 с.

21 Жук К.Д. Автоматизированное проектирование логико-динамических систем / К.Д. Жук, А.А. Тимченко. – К.: Наукова думка, 1981. – 320 с.

22 Зиатдинов Ю.К. Методы определения оптимальных проектных параметров сложных технических систем при наличии ограничений / Ю.К. Зиатдинов // Космическая наука и технология. – 1996. – Т.2, №1-2. – С. 57-61.

23 Зиатдинов Ю.К. Метод формирования множества паретооптимальных обликов сложных технических систем / Ю.К. Зиатдинов. – Космическая наука и технология. – 1996. – Т.2., №1-2. – С. 62-67.

24 Борисов В.И. Проблемы векторной оптимизации / В.И. Борисов // Исследование операций. – М.: Наука, 1972. – С. 72-92.

25 Зыков А.А. Основы теории графов / А.А. Зыков. – М.: ФМЛ, 1987. – 382 с.

26 Дружинин В.В. Конфликтная радиолокация / В.В. Дружинин, Д.С. Конторов. – М.: Радио и связь, 1982. – 124 с.

27 Вентцель Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель. – М. Сов.радио, 1972. – 542 с.

28 Алпатов Б.А. Некоторые вопросы построения видеокомпьютерных следящих систем / Б.А. Алпатов, О.Е. Балашов,

А.И. Степашкин // Проблемы математического моделирования и обработки информации в научных исследованиях: Сб. науч. тр. – Рязань: РГРТА, 2003. – С. 16-25.

29 Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа / Н.Н. Моисеев. – М.: Наука, 1981. – 488 с.

30 Попов И.А. Исследование, синтез и функционально-структурное проектирование больших технических систем / И.А. Попов, О.Г. Коврижкин. – К., КВВАИУ, 1990. – 364 с.

31 Попов И.А. Исследование и проектирование больших технических систем / И.А. Попов, В.В. Скворцов, А.К. Мицитис. – К.: КИ ВВС, 1995. – 252 с.

32 Фельдбаум А.А. Основы теории оптимальных автоматических систем / А.А. Фельдбаум. – М.: Физматгиз, 1963. – 552 с.

33 Жук С.Я. Адаптивная фильтрация параметров движения маневрирующего объекта в прямоугольной системе координат / С.Я. Жук, В.И. Кожевниченко, В.В. Юзефович // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. – 2009. – Т. 11, № 2. – С. 12–24.

34 Кузьмин С. З. Основы теории цифровой обработки радиолокационной информации / С. З. Кузьмин. – М.: «Сов. радио», 1974. – 432 с.

35 Экспериментальная механика / Под ред. А. Кобаяси; [Пер с англ.]. – М., Мир, 1990. – Кн. 2. – 552 с.

36 Фільтр Калмана. Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/166693/>

37 Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию. – К.:КВИЦ, 2000. – 428с.

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ, АПРОБАЦІЯ ТА ПОДАЛЬШИЙ РОЗВИТОКУ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВІДЕОСУПРОВОДЖЕННЯ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ

В даному розділі приведено процес дослідження параметрів роботи системи траєкторного стеження та проведено експериментальні дослідження точності супроводження об'єктів.

Проведено комп'ютерне моделювання обраного варіанту структурної схеми керування орієнтацією оптичної осі систем відеоспостереження, та представлено його результати. Відображено розроблене програмне забезпечення для дослідження роботи системи траєкторного стеження.

Розглянуто застосування побудованої комп'ютерної моделі в реальних системах, висвітлено алгоритм роботи комп'ютерної моделі.

Запропоновано шляхи подальшого дослідження, наведено модель та алгоритм керування триосьовою системою траєкторного стеження, що має забезпечувати супровід об'єкту спостереження для рухомої платформи з кращою точністю та швидкодією.

Основні результати даного розділу висвітлені в роботах автора [1-6].

4.1 Дослідження параметрів роботи системи траєкторного стеження

Моделювання системи траєкторного стеження проводилось для дослідження залежностей точності супроводження від різних параметрів, за результатами яких є можливість налагодити систему для забезпечення супроводу об'єкта із заданими показниками.

Оскільки передбачається мінімальний час затримки $\tau \rightarrow 0$, в якості цифрового регулятора (ЦР) було обрано пропорційно-інтегральний (ПІ) регулятор з передаточною функцією, що має забезпечувати відпрацьовування лінійно змінного в часі кутового положення об'єкта з нульовою сталою помилкою в контурі спостереження [16-20]:

$$W_{\text{ЦР}}(z) = K_{\text{пер}} \left(1 + \alpha \frac{T}{2} \cdot \frac{1 + z^{-1}}{1 - z^{-1}} \right), \quad (4.1)$$

де T — період дискретизації; z - змінна перетворення $Z = e^{Ts}$ (де s – комплексна змінна перетворення Лапласа); $K_{\text{пер}}$ – коефіцієнт передачі регулятора; коефіцієнт α враховує ступінь введення чисельного інтеграла.

Застосовуючи цей регулятор ми отримуємо досконалішу, у порівнянні з методом прямокутників, апроксимацію інтегровальної функції трапеціями [10]. Замкнений контур з ЦР працюватиме на частоті дискретизації $f = 1/T$.

Рамки кардану є пристроями, керованими безперервними сигналами, тому для переходу від дискретних сигналів, формованих ЦР, до безперервних у системах ТрС використовують ЦАП, представлені фіксаторами нульового порядку з передатними функціями:

$$W_{\text{ЦАП}} = \frac{1 - z^{-1}}{s} K_{\text{ЦАП}}, \quad (4.2)$$

залежними від комплексної змінної перетворення Лапласа s та змінної перетворення z [21].

У якості виконавчого пристрою використовуємо двоосьовий карданний підвіс із електромеханічними приводами швидкості. Такі приводи в загальному випадку можна описати передатною функцією інтегруючої ланки:

$$W_{\text{П}}(s) = \frac{K_{\text{П}}}{s}, \quad (4.3)$$

У випадках, коли постійні часу приводу, розташовані в смузі пропускання системи, компенсуються цифровим коригувальним пристроєм.

Використання перетворення оцінок координат центру об'єкта із системи координат зображення $X_1O_1Y_1$ у кутові координати сферичної системи координат носія проводиться відповідно до виразів (2.16), (2.17) і дозволяє

розглядати контури керування кутами θ і φ як незалежні. У зв'язку із цим розглянемо окремо контур керування кутом θ при $\varphi_p = 0$.

Для систем ТрС найбільш важким режимом є супроводження об'єкта, коли кутова траєкторія змінюється за гармонійним законом [11]. Тому оцінка якості супроводження об'єктів в системах ТрС часто проводиться по максимальній амплітуді помилки відпрацьовування системою синусоїдального сигналу, що моделює зміну напрямку на об'єкт. Припустимо, що кутовий напрямок на об'єкт змінюється за синусоїдальним законом:

$$\theta_p(t) = \theta_{\text{зад}}(t) = \theta_{\text{max}} \sin \omega_k t, \quad (4.4)$$

де θ_p - кут азимута об'єкта, θ_{max} амплітуда зміни кутової координати θ_p об'єкта, ω_k - кругова частота, при цьому максимальні швидкість і прискорення зміни напрямку на об'єкт відповідно рівні $\theta_{\text{max}} \omega_k$, $\theta_{\text{max}} \omega_k^2$.

Крім корисного сигналу на вході слідкуючого контуру системи ТрС присутня перешкода. Будемо вважати, що перешкода $\eta(t)$ – білий шум з нормальним розподілом і дисперсією $\sigma_{\text{шум}}^2$ не корельований із сигналом $\theta_p(t)$.

Присутність перешкоди на вході слідкуючого контуру обумовлена похибками обчислення необхідних кутів повороту рамок кардана, які залежать від точності визначення поточних кутів повороту, характеристик ВД (роздільної здатності формованого зображення, ширини поля зору) і точності обчислення координат центру об'єкта застосовуваними просторово-часовими алгоритмами. Отже, на вхід слідкуючого контуру системи ТрС подаємо сигнал $\hat{\theta}_p(t) = \theta_p(t) + \eta(t)$, що є оцінкою напрямку на об'єкт. Слідкуючий контур відпрацьовує сигнал, що є оцінкою кутової неузгодженості між напрямками на об'єкт і оптичної осі, описуваний виразом

$$\Delta \hat{\theta}(t) = \theta_p(t) - \theta(t) + \eta(t). \quad (4.5)$$

Під помилкою ТрС будемо розуміти максимальну амплітуда помилки супроводження об'єкта в сталому режимі супроводження

$$\lambda = \Delta\theta = \max_t \Delta\theta(t) = \max_t (\theta_p(t) - \theta(t)). \quad (4.6)$$

Розглянута система є лінійною, тому, помилку супроводження ТрС λ , визначимо, як суму динамічної помилки λ_d відпрацьовування системою керуючого сигналу $\theta_p(t)$ і амплітуди помилки $\lambda_{п\max}$, обумовленої проходженням через систему шумової складової $\eta(t)$. Помилку супроводження системи ТрС представимо у вигляді $\lambda = \lambda_d + \lambda_{п\max}$.

Система ТрС містить дискретні блоки (блоки визначення координат об'єкта на зображенні, цифровий регулятор) і безперервний пристрій керування (приводи карданного підвісу), тому для дослідження якості роботи систему зручно описувати як імпульсну (дискретизація за рівнем не враховується) або як цифроаналогову.

Амплітуда динамічної помилки може бути знайдена з використанням модуля передатної функції замкненої аналогово-цифрової системи за похибкою $\Phi(z)$ [12]:

$$\lambda_d = |\Phi(z)|_{z=e^{j\omega_k T_1}} \theta_{\max} = \frac{\theta_{\max}}{|1 + W(z)|_{z=e^{j\omega_k T_1}}}, \quad (4.7)$$

де $W(z)$ – передатна функція розімкнутої системи.

Оскільки у нормально працюючих системах амплітуда помилки зазвичай значно менша за амплітуду вхідного сигналу, тобто $\lambda_d \ll \theta_{\max}$, то можемо вважати прийнятним вираз $|W(z)| \gg 1$. Тому замість виразу (4.7) можемо скористатися наближеним виразом

$$\lambda_{\text{д}} \approx \frac{\theta_{\text{max}}}{|W(z)|_{z=e^{j\omega_k T_1}}} \quad (4.8)$$

де ω_k – кругова частота, T_1 – період дискретизації системи.

Зазначений вираз дозволяє сформулювати вимоги до ЛАЧХ системи автосупроводження. Для того щоб вхідний вплив (4.4) відтворювався з помилкою, що не перевищує динамічної похибки $\lambda_{\text{д}}$, ЛАЧХ системи повинна лежати не нижче контрольної точки з координатами

$$\omega = \omega_k; L(\omega_k) = 20 \lg |W(z)|_{z=e^{j\omega_k T}} \geq 20 \lg \frac{\theta_{\text{max}}}{\lambda_{\text{д}}} \quad (4.9)$$

При визначенні умов роботи системи супроводження зазначимо максимальну швидкість Ω_{max} і максимальне прискорення a_{max} зміни вхідного впливу. Для цього підберемо еквівалентний режим гармонійного вхідного впливу $\theta_e(t) = \theta_{e \text{ max}} \sin \omega_{k e} t$, при якому амплітуди швидкості й прискорення рівні максимальним заданим значенням. Ці значення отримуємо з наступних виразів:

$$\left| \left(\frac{d\theta_e(t)}{dt} \right) \right|_{\text{max}} = \Omega_{\text{max}}; \left| \left(\frac{d^2\theta_e(t)}{dt^2} \right) \right|_{\text{max}} = a_{\text{max}} \quad (4.10)$$

З (4.10) знаходимо $\omega_{k e}$ й $\theta_{e \text{ max}}$,

$$\Omega_{\text{max}} = \theta_{e \text{ max}} \omega_{k e}; a_{\text{max}} = \theta_{e \text{ max}} \omega_{k e}^2;$$

$$\omega_{k e} = \frac{a_{\text{max}}}{\Omega_{\text{max}}}; \theta_{e \text{ max}} = \frac{a_{\text{max}}}{\omega_{k e}^2}.$$

При моделюванні було прийнято, що максимальна швидкість і прискорення зміни напрямку на об'єкт рівні відповідно:

$$\Omega_{\max} = 10 \text{ кут. град./с і } a_{\max} = 100 \text{ кут. град./с}^2.$$

У цьому випадку еквівалентний синусоїдальний сигнал буде мати параметри $\omega_k = 10 \text{ с}^{-1}$ і $\theta_{\max} = 1 \text{ кут. град.}$ та прийме вигляд

$$\theta_{\text{зад}}(t) = 1 \cdot \sin 10t. \quad (4.11)$$

Для розімкненої системи ЛАЧХ не повинна заходити в заштриховану область (рис. 4.1) [13]. Ця область визначається положенням точки A з координатами $L_A = 20 \lg(\theta_{\max}/\varepsilon_{\text{дод}})$ та $\omega_A = 10 \text{ с}^{-1}$. Також визначимо наступні дані $\varepsilon_{\text{дод}} = 0,02 \text{ кут. градусів}$, $L_A = 34 \text{ дБ}$.

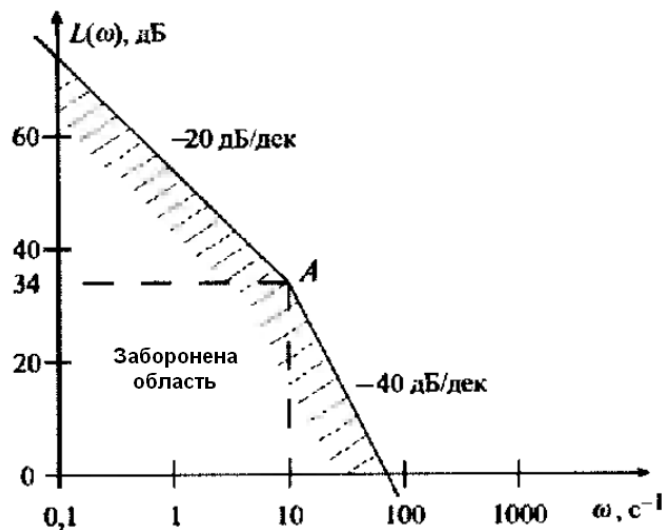


Рис. 4.1 – Зона похибки, нижче якої динамічна похибка буде занадто великою (заборонена зона)

Шумова складова $\lambda_n \text{ max}$ помилки супроводження об'єкта на виході системи ТрС має нормальний розподіл у силу лінійності системи супроводження й нормального характеру шумової складової на вході системи.

Отже, амплітуду випадкової складової помилки супроводження можна приблизно оцінити за правилом трьох сигм σ [14]

$$\lambda_{\Pi \max} = 3\sigma_{\Pi} \quad (4.12)$$

де σ_{Π} – середньоквадратичне відхилення шумової складової похибки на виході системи ТрС.

При наявності на вході цифроаналогового слідкуючого контуру системи ТрС випадкового сигналу $\eta(t)$ середньоквадратичне відхилення помилки на виході обчислюється наступним чином [15]:

$$\sigma_{\Pi}^2 = R_{\Pi}(\tau_1)|_{\tau_1=0} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi/T_1} |\Phi(z)|^2 S_{\eta}(\omega) e^{j\omega\tau_1} d\omega \Big|_{z=e^{j\omega T_1}, \tau_1=0}, \quad (4.13)$$

де $R_{\Pi}(\tau_1)$ - кореляційна функція шумовий складової $\lambda_{\Pi \max}$; $\Phi(z)$ – передатна функція замкненої дискретної системи ТрС; T_1 – період дискретизації системи; $S_{\eta}(\omega)$ – спектральна щільність дискретного шуму на вході слідкуючого контуру.

Спектральну щільність дискретного сигналу обчислюємо за наступним виразом [16]:

$$S_{\eta}(\omega) = T_1 \sum_{r=-\infty}^{\infty} K[rT_1] e^{-j\omega T_1},$$

де $K[rT_1]$ - кореляційна функція дискретної перешкоди.

Для дискретного білого шуму спектральна щільність дорівнює $S_{\eta}(\omega) = T_1 \sigma_{\text{шум}}^2$. У випадку, коли на автоматизовану систему діють одночасно корисний сигнал і перешкода, виникає завдання оптимального розрахунку параметрів системи для того, щоб одержати найменшу результуючу помилку.

Для найкращого відтворення корисного сигналу система повинна мати якомога більшу смугу пропускання. А з точки зору максимального придушення перешкоди система, навпаки, повинна мати якомога меншу смугу пропускання [17]. Ширина смуги пропускання системи супроводження

залежить від параметрів цифрового регулятора, періоду дискретизації системи, величини запізнювання τ і необхідного запасу стійкості.

В розділі 3.5 було запропоновано варіанти структурних схем систем відеосупроводження, та обрано варіант структури з блоком прогнозування та зворотнім зв'язком (рис. 3.7). Функціональну схему одного каналу супроводження цієї системи можна представити у вигляді, зображеному на рис. 4.2.

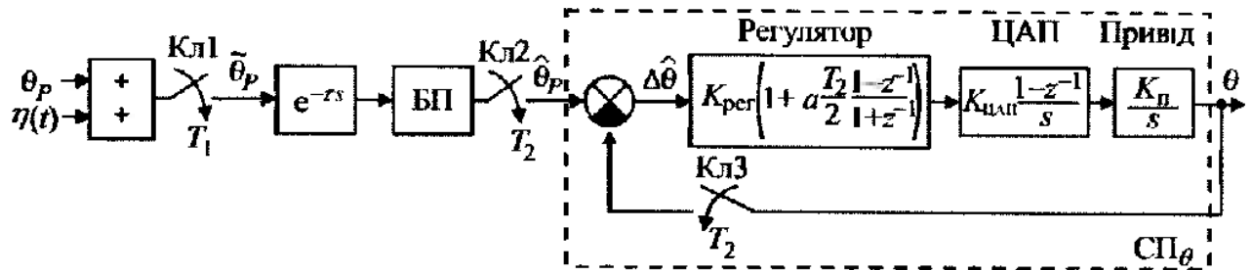


Рис. 4.2 – Функціональна схема одного каналу системи траєкторного стеження

Основною відмінністю зазначеного варіанту є використання блоку прогнозування БП, що компенсує запізнювання у видачі кутових координат супроводжуваного об'єкта шляхом збільшення частоти дискретизації вхідного впливу слідкуючого привода СП θ . Розглянута система містить зовнішній контур (на рисунку не показаний), який замикається через зовнішній простір та ВД. У випадку побудови системи ТрС за зазначеною схемою, збільшуючи смугу пропускання системи СП θ , вдається зменшити динамічну помилку.

Було проведено дослідження точності супроводження об'єктів системою ТрС, побудованої, у припущенні, що похибка прогнозування мала, і нею можна знехтувати. На вхід слідкуючого привода системи ТрС подається сигнал, що описується виразом (4.11) та спотворений адитивною нормальною перешкодою.

Розглянемо схему одного каналу супроводження, зображену на рис. 4.2. Припустимо, що блок визначення координат і блок прогнозування мають коефіцієнти підсилення рівні одиниці і при цьому БП повністю компенсує

запізнювання у видачі координат об'єкта. Тоді систему ТрС можна описати передаточною функцією розімкнутого контуру СП_θ виду [19]:

$$W(z) = K \left(1 + a \frac{T_2}{2} \frac{1+z^{-1}}{1-z^{-1}} \right) \left(\frac{T_2}{z-1} \right), \quad (4.14)$$

де K – коефіцієнт підсилення розімкнутого контуру СП_θ, а $W_{кв}(z)$, $W_{п}(s) \approx K_{п}/s$ коригувальним пристроєм (на схемі не показаний) компенсуються постійні часу приводу виконуючого пристрою.

Для побудови ЛАЧХ та ЛФЧХ системи будемо використовувати наступне перетворення [19]:

$$z = e^{j\omega T_1} = \cos \omega T_2 + j \sin \omega T_2 = \frac{1 + j \operatorname{tg} \frac{\omega T_2}{2}}{1 - j \operatorname{tg} \frac{\omega T_2}{2}}. \quad (4.15)$$

де ω_k – кругова частота, T_1 – період дискретизації системи, T_2 – період роботи слідкуючого пристрою $T_2 < T_1$.

Підставивши (4.15) у вираз для передатної функції розімкнутої системи ми одержали частотну передаточну функцію розімкнутої системи (4.14) одержимо часткову передатну функцію розімкнутого слідкуючого привода:

$$W(e^{j\omega T_2}) = K T_2 \left(1 - \frac{j a T_2}{2 \operatorname{tg} \frac{\omega T_2}{2}} \right) \left(\frac{-j - \operatorname{tg} \frac{\omega T_2}{2}}{2 \operatorname{tg} \frac{\omega T_2}{2}} \right).$$

Логарифмічні характеристики розглянутої системи обчислюються по формулах (4.16) [18]:

$$20\lg|W(e^{j\omega T_2})| = 20\lg|KT_2| + 20\lg\left|1 - \frac{jaT_2}{2\operatorname{tg}\frac{\omega T_2}{2}}\right| + 20\lg\left|\frac{-j - \operatorname{tg}\frac{\omega T_2}{2}}{2\operatorname{tg}\frac{\omega T_2}{2}}\right|, \quad (4.16)$$

$$\arg(W(e^{j\omega T_2})) = \operatorname{arctg}\left(\frac{-aT_2}{2\operatorname{tg}\frac{\omega T_2}{2}}\right) + \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{\operatorname{tg}\frac{\omega T_2}{2}}\right).$$

На рис. 4.3 показані ЛАЧХ $L(\omega) = 20\lg|W(e^{j\omega t})|$ і ЛФЧХ $\varphi(\omega)$ слідкуючого привода для $T_2 = 0,005$ с, $K = 150$ с⁻¹, $a = 75$ с⁻¹, при цьому перерегулювання становить $\sigma = 23$ %. З малюнка видно, що ЛАЧХ не заходить у заборонну область (рис. 4.1), отже слідкуючий привід забезпечує раніше задану точність відпрацювання еквівалентного синусоїдального сигналу.

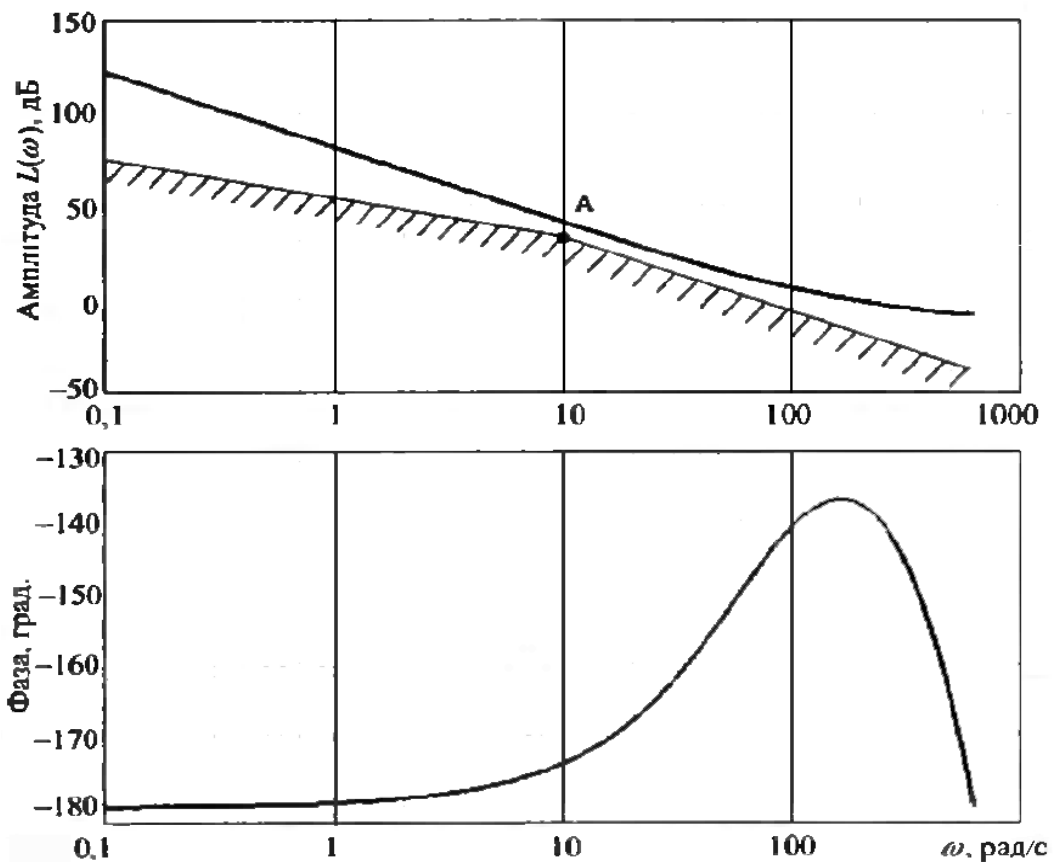


Рис. 4.3 – Амплітудно-частотна характеристика розімкненої системи траєкторного стеження

Динамічна похибка на виході системи при впливі на вхід слідкуючого приводу системи ТрС гармонійного еквівалентного сигналу (4.11) обчислюється з використанням виразів (4.8) і (4.14).

При параметрах $K = 150 \text{ с}^{-1}$, $a = 75 \text{ с}^{-1}$ і наявності випадкової складової на вході системи з $3\sigma_{\text{шум}} = 0.05$ кут. град, динамічна похибка системи має значення $\lambda_d = 0.009$ кут. град.

Похибка на виході слідкуючих приводів від випадкової складової розраховується за допомогою виразів (4.12), (4.13), (4.14) і рівна $\sigma_{\text{п max}} = 0,049$ кут. град. У даних розрахунках не враховувалася похибка прогнозування, однак вона не сильно вплине на випадкову складову помилки системи за умови, що траєкторію кутового напрямку на об'єкт вдається достатньо точно апроксимувати поліномом невисокого порядку й час прогнозування порівняний з періодом формування відеокадрів.

На рис. 4.4 показана похибка супроводження об'єкта системою ТрС (рис 3.7) з урахуванням просторової дискретизації кадрів ВД.

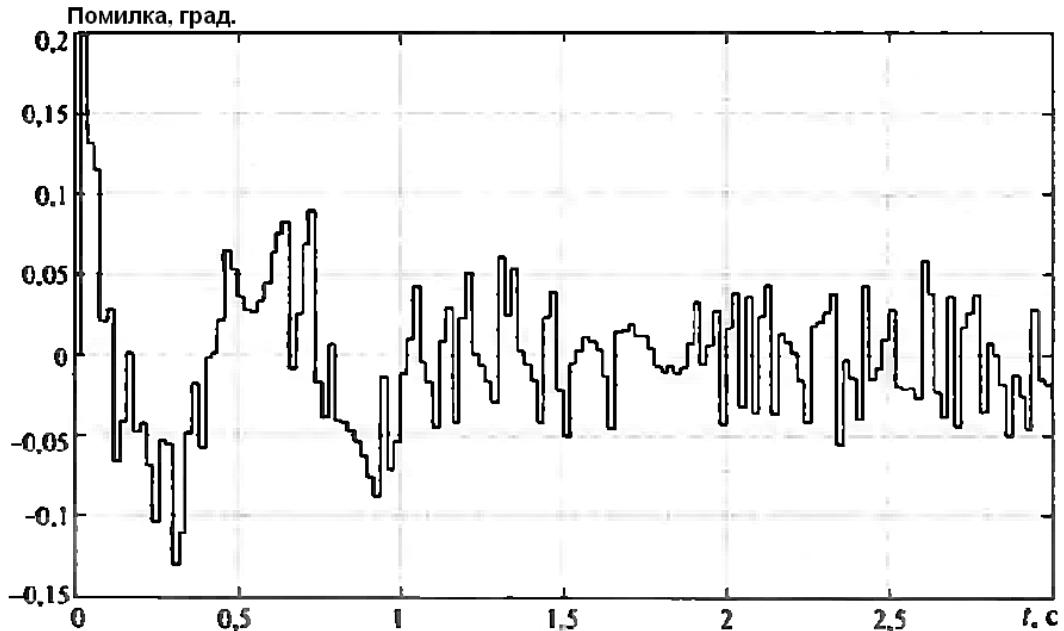


Рис. 4.4 – Похибка супроводження підсистеми траєкторного стеження

При цьому кутова траєкторія напрямку на об'єкт моделюється еквівалентним гармонійним сигналом (4.11), параметри системи мають значення $K = 150 \text{ с}^{-1}$, $a = 75 \text{ с}^{-1}$, $T_2 = 0,005 \text{ с}$. Відеокадри, при полі зору ВД

30x40 кут. градусів², представлені матрицею 576x768 пікселів. У якості БП використаний екстраполятор другого порядку. До моменту часу 1с система перебуває в перехідному процесі й БП працює як екстраполятор нульового порядку для зменшення перерегулювання в системі. У режимі роботи, що встановився, прогноз здійснюється з використанням методу МНК за сімома відліками при апроксимації траєкторії поліномом другого порядку.

Проведений аналіз і результати моделювання показують наявність можливості розширення смуги пропускання системи ТрС і, отже, зменшення помилки супроводження об'єктів при реалізації системи за обраним варіантом побудови. Конкретний же вибір варіанта реалізації системи буде залежати від необхідної точності супроводження при заданих максимальних значеннях швидкості й прискорення зміни кутового напрямку на об'єкт.

4.2 Розробка програмного забезпечення та результати експериментальних досліджень системи відеосупроводження рухомих об'єктів

Незалежно від обраного режиму роботи комп'ютеризованої системи, при виборі схем фільтрації необхідно враховувати, що ефективність обраної схеми залежить не тільки від маневрових можливостей РО, а й від параметрів системи спостереження. Тобто, при моделюванні руху РО розглядається процес обрахунку кута повороту відповідно до руху РО разом з процесом вимірювання системою спостереження параметрів цього руху. Характер руху більшості РО можемо визначити як сукупність ділянок руху без інтенсивних змін траєкторії (без маневрування) та з маневруванням. При цьому ділянки маневрування є нетривалими, що дозволяє значно підвищити якість фільтрації параметрів на ділянках без змін траєкторії.

Отже, модель має бути розрахована на рух РО без маневру за деяким шумом невисокої інтенсивності, та на маневр, що визначатиметься впливом високої інтенсивності. Зміну траєкторії РО представимо як шум з нульовим математичним очікуванням, та дисперсією, що визначається інтенсивністю

маневрування, максимальне значення якої визначається з максимально можливих маневрових можливостей РО за правилом «трьох сигм».

При зміні траєкторії РО ефективність експоненціального згладжування знижується, в основному за рахунок зростання систематичної складової похибки оцінки курсу. На рис. 4.5 представлено результати моделювання для різних значень коефіцієнта α .

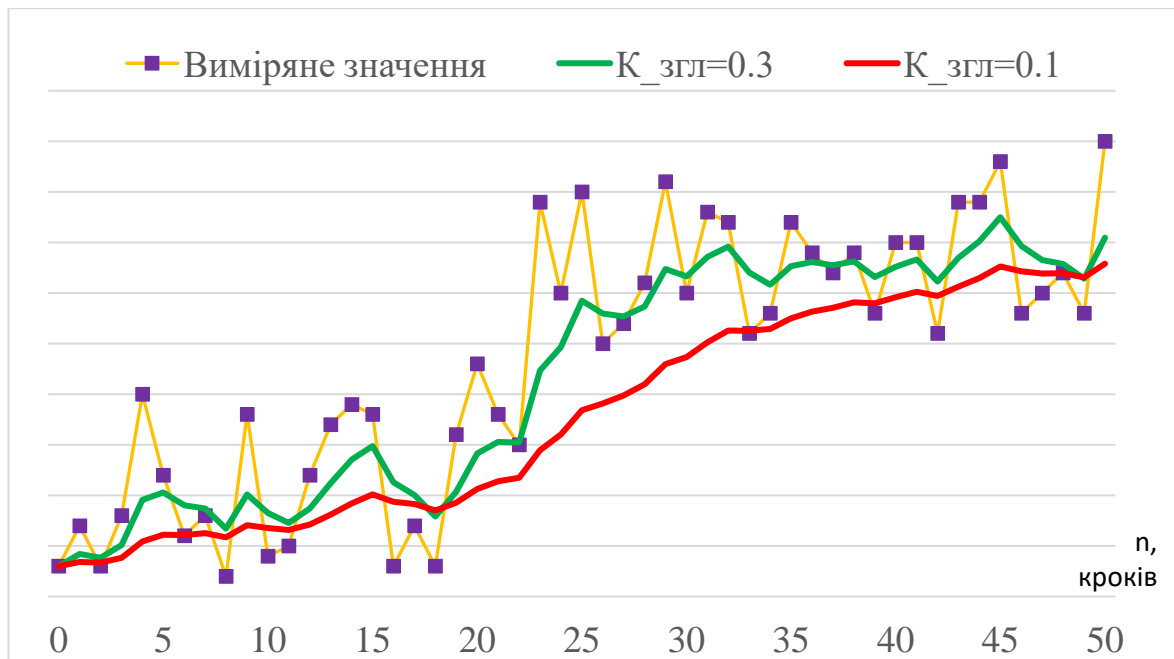


Рис. 4.5 – Моделювання згладжування кута повороту відповідно курсу РО з інтенсивним маневром, з різними коефіцієнтами згладжування

Результати згладжування можуть бути покращені за рахунок виділення керуючого сигналу про зміну траєкторії (рис. 4.6). За ознакою зміни траєкторії значення α змінювався на $1-\alpha$.

На рис. 4.7 відображено результати згладжування кута повороту відповідно до курсу РО, що рухається з інтенсивним маневром, з використанням ознаки зміни траєкторії. З даних на рис 4.7 видно, що затримка фільтрації майже відсутня.

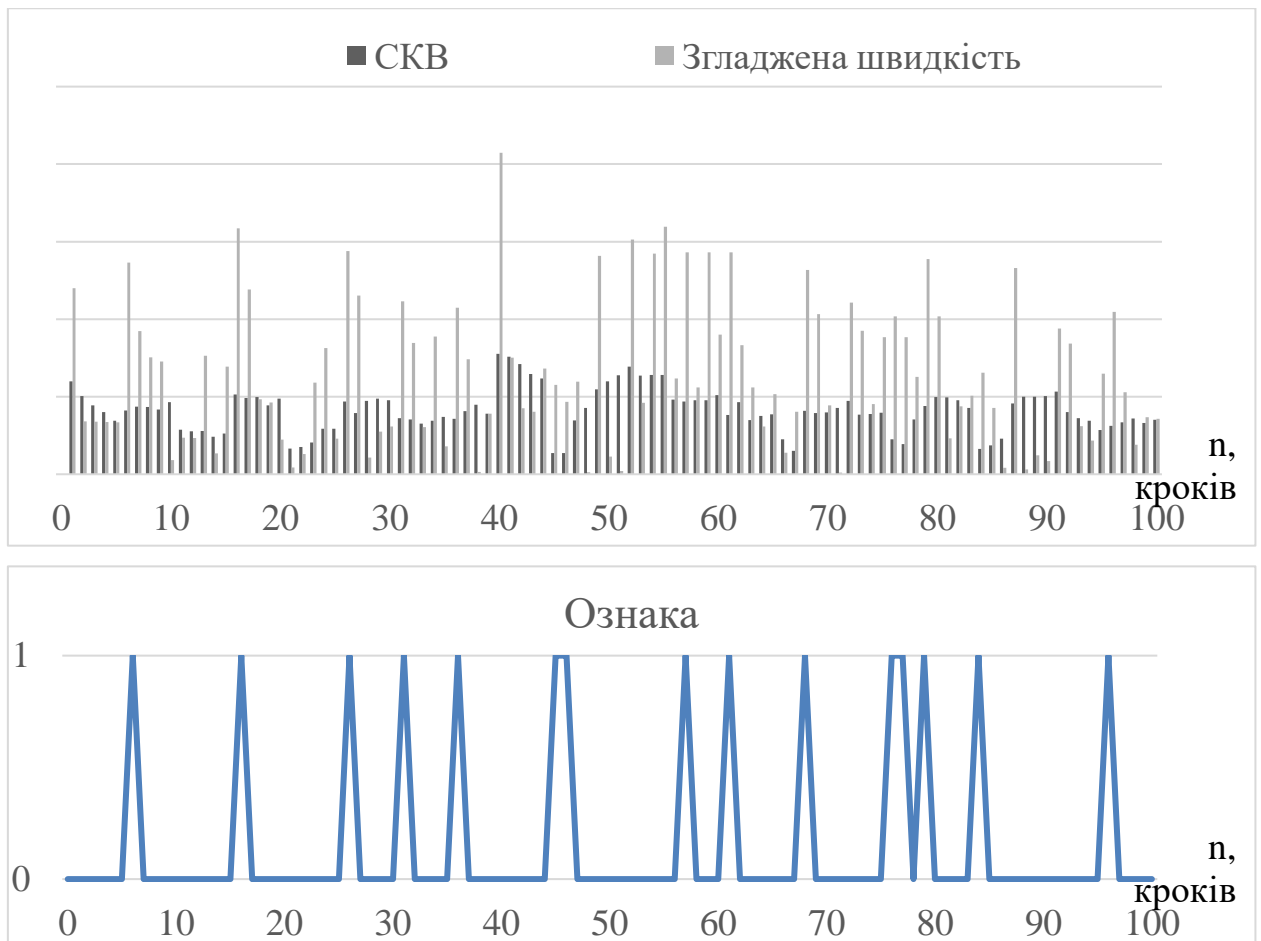


Рис. 4.6 – Розрахунок ознаки маневру за середньоквадратичним відхиленням вимірної координати рухомого об'єкта

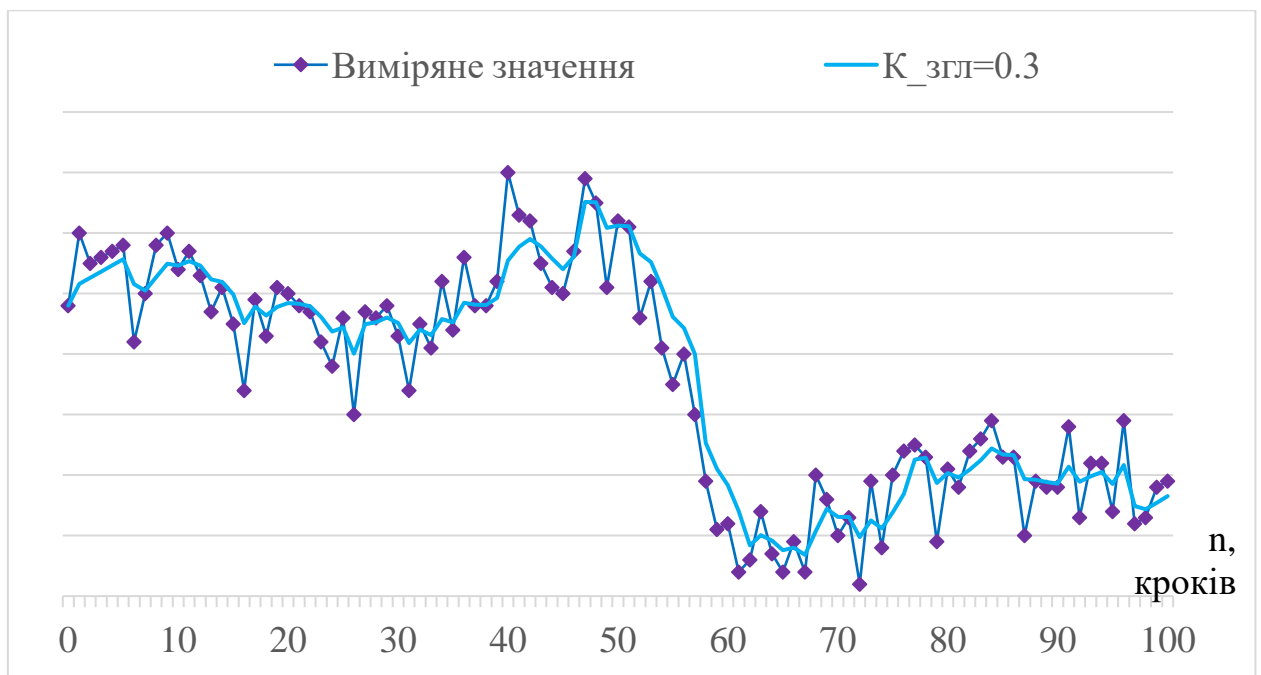


Рис. 4.7 – Результати згладжування кута повороту з використанням ознаки маневру рухомого об'єкта

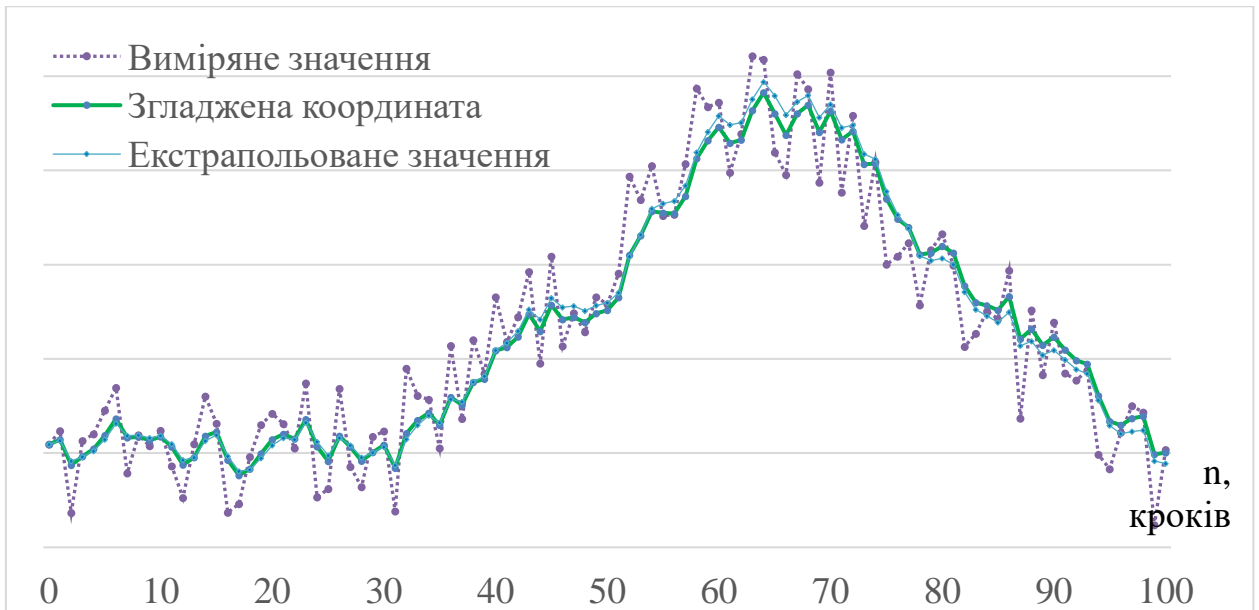


Рис. 4.8 – Моделювання процесу прогнозування координати об'єкта на наступний крок

На рис 4.8 відображено моделювання процесу екстраполяції з передбаченням наступного кута повороту на об'єкт спостереження. З результатів можна відмітити похибку при раптовій зміні показників та виправлення результатів лише за декілька ітерацій.

Така схема дозволяє проводити згладжування курсу РО, та не потребує великого об'єму пам'яті чи складних обчислень. При цьому, інертність фільтрації може бути виправлена застосуванням ознаки зміни траєкторії.

Моделювання роботи системи відеосупроводження рухомих об'єктів виконано в програмному комплексі Constuct 2 (рис 4.9).

Цей програмний комплекс дозволяє проводити моделювання без написання коду, напряму визначаючи перелік подій, взаємодію між об'єктами та експериментально дослідити роботу системи супроводження у двовимірному просторі.. Більш докладно модель описана в додатку В.

На основі моделювання зібрано статистичні показники про час візування (таблиця 4.1). Під час проведення кожного експерименту моделювання дані ручного наведення R та системою траєкторного стеження A збирався паралельно під час кожної ітерації.

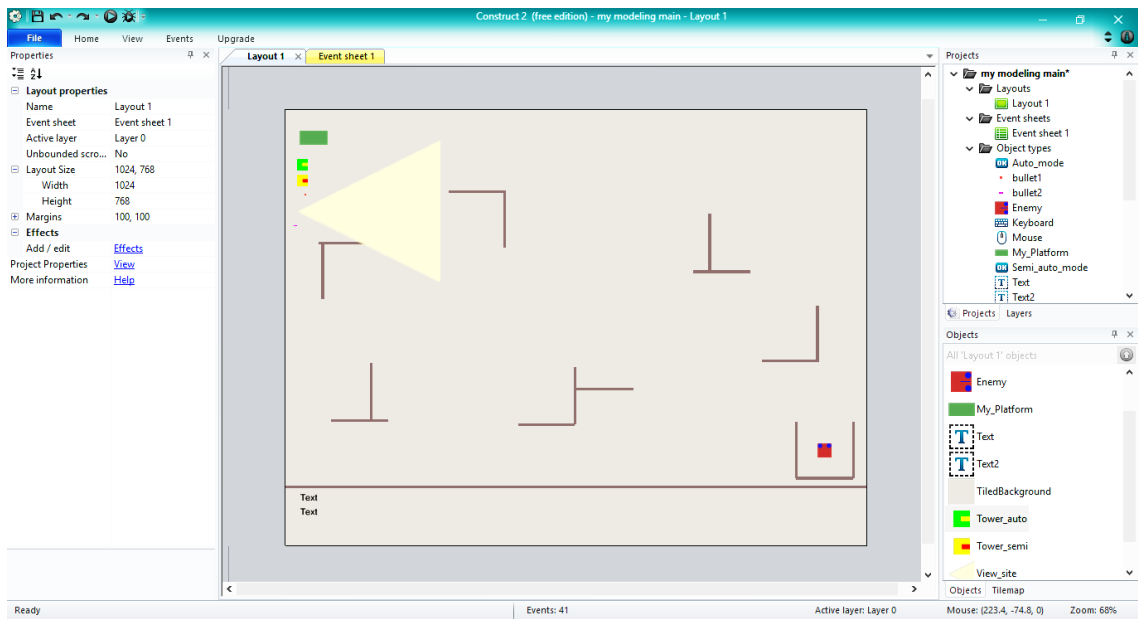


Рисунок 4.9 – Середовище моделювання в програмі Construct 2

Отримані статистичні дані моделювання процесу утримання лінії візування в площині габаритного розміру спостережуваного рухомого об'єкту оператором (R) та автоматизованою системою відеосупроводження (A) (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Результати моделювання та показник ефективності автоматизованої системи траєкторного стеження

№ експ.	Візування оператор. R, кадрів	Візування системою траєкторн. стеження A, кадрів	Показник ефективн. Δ , %
1	8407	9514	11.64
2	9630	10301	6.51
3	9781	10177	3.89
4	9384	10660	11.97
5	10256	10727	4.39
6	9138	10177	10.21
7	9705	10542	7.94
8	9260	9869	6.17
9	8971	9801	8.47
10	9193	10127	9.22
Сер.	9372.5	10189.5	8.02

Одержані експериментальні дані корелюються з впливом психофізичного стану оператора (бадьорість, втома, різний час доби). Для аналізу даних експериментального дослідження запропоновано формулу визначення показника ефективності (2):

$$\Delta = \frac{A - R}{A} * 100\%$$

Проаналізувавши дані експериментального дослідження можемо зробити висновок, що середня ефективність системи автоматизованого супроводження рухомих об'єктів, встановлена на рухомій платформі складає приблизно 8 %, або в діапазоні від 4 до 12 %, в залежності стану оператора.

4.3 Реалізація комп'ютеризованої системи керування відеосупроводженням рухомих об'єктів

Підсистему ТрС пропонується використати як доповнення, сумісно або паралельно до стабілізаторів. Прикладом такої взаємодії є стабілізатори, що застосовуються ПАТ «НВО «Київський завод автоматики», а саме для СВУ-500-3Ц та СВУ-500-4Ц (акт впровадження у додатку А).

Функціональну схему даної підсистеми ТрС відображено на рис 4.10, алгоритм роботи цієї схеми наведено в додатку Б.

Принцип роботи такої підсистеми полягає в наступному. З модуля оптико-електронних датчиків на екрани оператора надходить зображення спостережуваного об'єкта. Оператор приймає рішення щодо спостереження та супроводу цілі, виконує попереднє (грубе) наведення на ціль за допомогою пульта управління (рис. 4.11), та активує один з режимів: напівавтоматичний або автоматизований.

При напівавтоматичному режимі виконується стабілізація і утримання лінії візування зафіксованої оператором за допомогою показників гіроскопічних приладів, а наведення виконується оператором вручну.



Рис. 4.10 – Функціональна схема впроваджені системи траєкторного стеження



Рис. 4.11 – Облаштування пульту управління оператора складної технічної системи

При активації одного з автоматизованих режимів використовується запропонована комп'ютеризована, а саме виконується розрахунок параметрів руху спостережуваного РО (створюється математична модель).

При використанні комп'ютеризованої системи в режимі застосування гіродатчиків з блоку гіроскопічних пристроїв надходять значення впливу зовнішніх збурень, що використовуються для кореляції координат об'єкта. Після проведення порівняння отриманих даних про об'єкт з математичною моделлю, виконується розрахунок сигналів зміщення об'єкта управління для супроводу РО. Далі проводиться розрахунок наступних координат об'єкта спостереження, дані записуються у математичну модель, а дані про зміщення та прогнозоване зміщення передаються до блоку управління, що, в свою чергу, формує управляючі сигнали, та забезпечує не лише стабілізацію, як у напівавтоматичному режимі, а й вирівнювання вісі візування з врахуванням переміщень спостережуваного РО. Зазначена методика потребує менше ресурсів обробки даних, проте вимагає додаткової синхронізації даних з блоку гіроскопічних пристроїв та оптико-електронного модуля.

При використанні режиму без застосування гіродатчиків слід застосовувати більш чутливі ПЗЗ- або КМОН-матриці та швидкодійні процесори обробки відеоданих (у якості прикладу можна навести сучасні action-камери, такі як GoPro, Xiaomi Yi, Panasonic SJCam та ін.). Подальша послідовність кроків роботи комп'ютеризованої системи схожа на попередню та полягає в наступному (комп'ютерна модель відображена в додатку Г):

- 1) Фіксація оператором об'єкту спостереження, передача на опрацювання до підсистеми TrC;
- 2) Вибір кадру у отриманому з оптико-електронного модулю (камери) відеозображення;
- 3) Якщо це перша ітерація – виконується передача до кроку 4, інакше до кроку 5;

4) Виконується початкова ідентифікація параметрів (положення відносно вимірюючого пристрою, наближені геометричні параметри об'єкта спостереження) та перехід до наступної ітерації (крок 12);

5) Наближене порівняння параметрів об'єкта з еталонним, при відповідності – перехід до обробки зображення (крок 6), інакше – до екстраполяції даних руху спостережуваного об'єкта (крок 9);

6) На цьому етапі виконується обробка зображення, а саме: визначення координат об'єкта спостереження та обрахування його зміщення відносно еталонного (нульових координат);

7) З отриманих у кроці 6 даних формуються керуючі сигнали для приводів горизонтального та вертикального наведення вимірюючого пристрою з метою центрування лінії візування об'єкту управління;

8) За отриманими даними оновлюється еталон об'єкту спостереження та виконується перехід до наступної ітерації (крок 12);

9) При не відповідності (відсутності в кадрі) об'єкта спостереження виконується збільшення лічильника втрати об'єкта спостереження;

10) Виконується перевірка досягнення лічильника втрати об'єкта ліміту ітерацій з втратою об'єкта. При малому числі – перехід до екстраполяції даних (крок 11), при перевищенні ліміту – до процесу зриву супроводу (крок 13);

11) Виконується розрахунок можливого положення об'єкту спостереження відповідно до еталонних даних про об'єкт;

12) Формування наступної ітерації отримання зображення з оптико-електронного модулю. Перехід до кроку 2;

13) Формування запису про втрату об'єкту спостереження;

14) Передача керування до ручного управління оператором.

Отже, різниця між двома розгляненими принципами роботи комп'ютеризованої системи полягає в застосуванні або більш простих технологічних рішень, що вимагатимуть додаткової синхронізації та матимуть меншу точність, або складніших технологій, що знаходяться на піку свого

розвитку та дозволяють як отримувати більш чітке зображення, так і виконувати певні прецизійні вимірювання, наприклад, для фотометрії або розпізнавання образів.

4.4 Визначення шляхів подальшого розвитку системи траєкторного стеження для підвищення точності та швидкодії

Актуальним є розвиток методів обробки інформації комп'ютеризованими системами в процесі супроводження рухомого об'єкта в реальному масштабі часу. Цей процес полягає в суміщенні оптичної осі відеодатчика (ВД) із напрямком на об'єкт. При вирішенні цього завдання для нерухокої системи буде достатньо двох осей, але при встановленні на рухомих носіях (повітряні апарати, надводний і наземний транспорт тощо), виникають також поступальний та обертальний рухи. Поступальний рух СТС (носія) з встановленою системою ТрС практично не впливає на кутову траєкторію об'єкта щодо системи супроводу при достатньо великих відстанях між об'єктом і носієм. Проте, обертальний рух носія, що може бути спричинений хитанням, вібрацією або маневрами, змінює кутові координати об'єкта щодо оптичної осі ВД із значно більшими швидкостями й прискореннями. Оскільки в реальних умовах усі механічні транспортні засоби знаходяться під впливом хитання, на систему ТрС можуть накладатися достатньо жорсткі вимоги до відпрацювання швидкозмінних кутових координат супроводжуваних об'єктів.

Крім більших кутових швидкостей і прискорень зміни напрямку на об'єкт, хитання носія призводить, при використанні двоосьової системи, до обертання ВД навколо оптичної осі й обертання зображення фонові обстановка в послідовності оброблюваних відеокадрів. Обертання зображення суттєво ускладнює розв'язок завдання виявлення і обчислення координат об'єкта й вимагає оцінки й компенсації обертання шляхом обробки зображення методами [22, 23], що вимагають великої кількості обчислень. Це приводить до збільшення часу запізнювання видачі координат об'єкта в контур

керування, що в свою чергу негативно позначається на точності супроводу.

Використання тривісного карданного підвісу у системи ТрС, установленної на рухомому носії, при наявності інформації про поточні кути хитання носія, дає можливість практично виключити зазначені обертання зображення [24-26]. Це дозволяє з більшою точністю й за менший час обчислювати координати супроводжуваного об'єкта, ніж за поверненим зображенням.

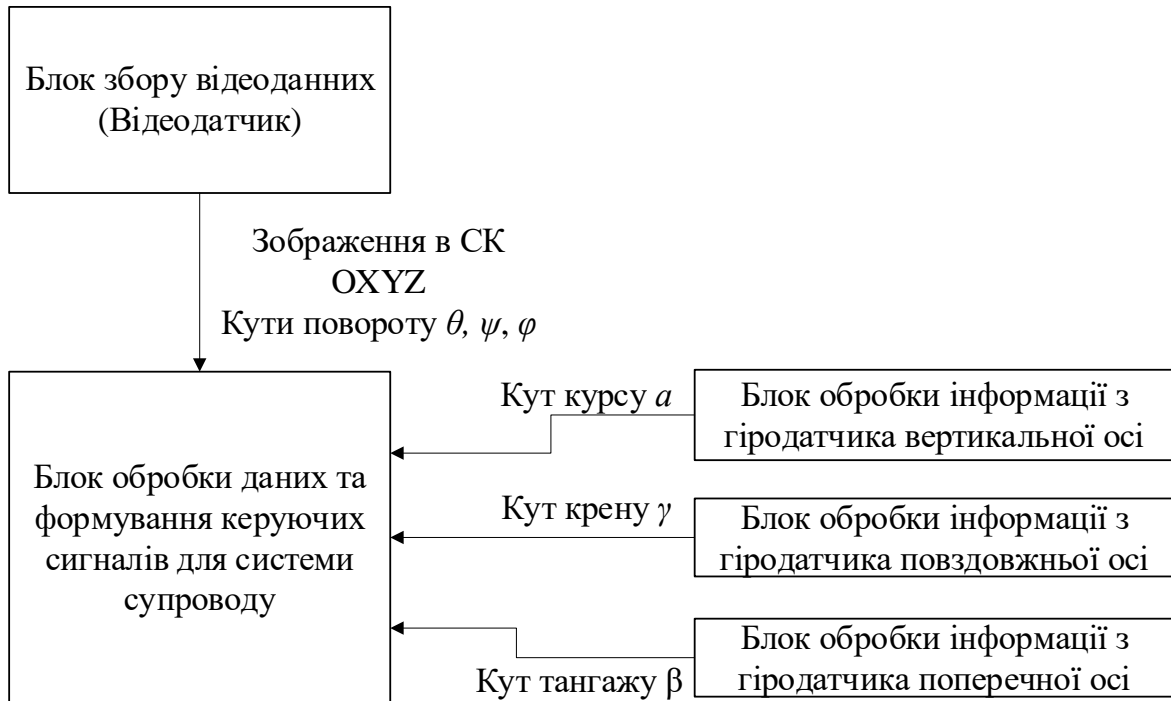


Рис. 4.12 – Триосьова система траєкторного стеження

На рис. 4.12 показана система супроводу з використанням триосьового карданного підвісу як виконавчого пристрою [24, 25, 27]. Керування орієнтацією оптичної осі ВД здійснюється шляхом зміни кутів повороту θ , ψ , φ рамок карданного підвісу (рис. 4.12).

На рис. 4.12 показано три системи координат (СК): $O\xi\eta\zeta$ – нерухомо орієнтована щодо поверхні Землі так, щоб площина $O\xi\eta$ була паралельна площини горизонту, а вісь $O\zeta$ утворювала праву систему координат (СК) із площиною $O\xi\eta$; осі СК $OXYZ$ збігаються з основними осями носія, а її положення відносно $O\xi\eta\zeta$ визначається кутами хитання (α - кут курсу, β - кут тангажу, γ - кут крену); $OUVW$ жорстко зв'язана з ВД, що закріплено на

внутрішній рамці кардана, при цьому напрямок оптичної осі ВД збігається з віссю OV , вісь OU паралельна площини горизонту за умови відсутності хитання та якщо кути повороту рамок кардана (θ - кут азимута, φ - кут місця, ψ - кут крену) рівні нулю, вісь OW утворює праву СК. При відсутності хитання носія й рівності нулю кутів повороту рамок карданного підвісу всі зазначені СК збігаються.

Введемо додаткову СК $OU_TV_TW_T$, що визначає необхідне (задане) положення в просторі опорно-поворотної платформи із ВД. Положення $OU_TV_TW_T$ відносно нерухомо орієнтованої СК $O\xi\eta\zeta$ зручно задати кутами азимута θ_T і місця φ_T осі OV_T , напрямком якої визначає необхідне положення оптичної осі ВД у нерухомо орієнтованої СК, за умови, що вісь OU_T належить площині горизонту $O\xi\eta$, а вісь OV_T утворює праву СК із площиною OU_TV_T . Зазначене положення осі OU_T відповідає вимозі відсутності обертання фону на зображенні. Необхідні значення кутів θ_T і φ_T : у режимі огляду простору можуть задаватися оператором або програмно, а в режимі автоматизованого супроводу об'єкта дані кути повинні обчислюватися відповідно до оцінюваних координатах об'єкта на зображенні при поточних значеннях кутів повороту рамок карданного підвісу й хитання носія.

Положення необхідної СК відносно нерухомо орієнтованої СК можна описати квадратною матрицею A напрямних косинусів осей СК $OU_TV_TW_T$ щодо системи $O\xi\eta\zeta$. Знаходження даної матриці пояснює рис. 4.13.

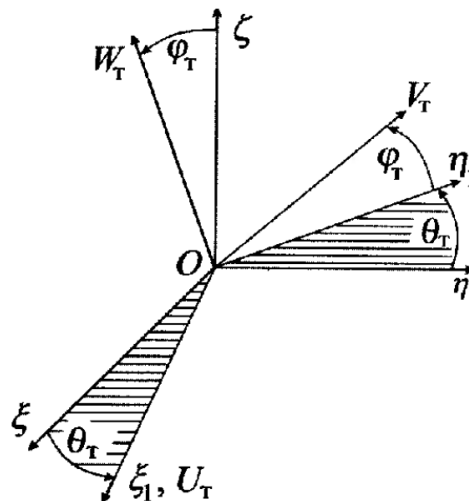


Рис. 4.13. Визначення необхідних кутів повороту рамок кардана

Координати вектора (точки) у системі $O\xi\eta\zeta$ визначаються через координати того ж вектора (точки) у системі $OXYZ$ за допомогою матриці \mathbf{B}^{-1} напрямних косинусів, що переводить базисні вектори із СК $OXYZ$ в $O\xi\eta\zeta$ [13]:

$$\begin{bmatrix} \xi \\ \eta \\ \zeta \end{bmatrix} = \mathbf{B}^{-1}(\alpha, \beta, \gamma) \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}, \quad (4.12)$$

де \mathbf{B} – матриця напрямних косинусів:

$$\begin{aligned} \mathbf{B}(\alpha, \beta, \gamma) &= \begin{bmatrix} \cos \gamma & 0 & -\sin \gamma \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \gamma & 0 & \cos \gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & \sin \beta \\ 0 & -\sin \beta & \cos \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \\ &= \begin{bmatrix} \cos \alpha \cos \gamma - \sin \alpha \sin \beta \sin \gamma & \sin \alpha \cos \gamma + \cos \alpha \sin \beta \sin \gamma & -\cos \beta \sin \gamma \\ -\sin \alpha \cos \beta & \cos \alpha \cos \beta & \sin \beta \\ \cos \alpha \sin \gamma + \sin \alpha \sin \beta \cos \gamma & \sin \alpha \sin \gamma - \cos \alpha \sin \beta \cos \gamma & \cos \beta \cos \gamma \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

З урахуванням (4.11), (4.12) перетворення координат із СК $OXYZ$ в $Ox_T y_T z_T$, здійснюється за допомогою виразу:

$$\begin{bmatrix} u_T \\ v_T \\ w_T \end{bmatrix} = \mathbf{A}(\theta_T, \varphi_T) \begin{bmatrix} \xi \\ \eta \\ \zeta \end{bmatrix} = \mathbf{A}(\theta_T, \varphi_T) \mathbf{B}^{-1}(\alpha, \beta, \gamma) \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \mathbf{C}(\theta_T, \varphi_T, \alpha, \beta, \gamma) \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}. \quad (4.13)$$

Введемо матрицю напрямних косинусів $\mathbf{D}(\theta, \varphi, \psi)$, що переводить координати вектора із СК $OXYZ$ в $OUVW$. Для одержання зазначеної матриці слід здійснити перехід від СК $OXYZ$, вважаючи її нерухомою, до системи $OUVW$, початкове положення якої збігається з $OXYZ$. Для координат вектора $[u \ v \ w]^T$ у СК $OUVW$ можна записати:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} = \mathbf{D}(\theta, \psi, \varphi) \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}. \quad (4.14)$$

Вид матриці $\mathbf{D}(\theta, \varphi, \psi)$ визначається побудовою карданного підвісу. Для триосьового кардана, зображеного на рис. 4.12, матриця приймає вигляд:

$$\mathbf{D}(\theta, \psi, \varphi) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & \sin \varphi \\ 0 & -\sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \psi & 0 & -\sin \psi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \psi & 0 & \cos \psi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} \cos \theta \cos \psi & \sin \theta \cos \psi & -\sin \psi \\ \cos \theta \sin \varphi \sin \psi - \sin \theta \cos \varphi & \sin \theta \sin \varphi \sin \psi - \cos \theta \cos \varphi & \sin \varphi \cos \psi \\ \cos \theta \cos \varphi \sin \psi + \sin \theta \sin \varphi & \sin \theta \cos \varphi \sin \psi - \cos \theta \sin \varphi & \cos \varphi \cos \psi \end{bmatrix}.$$

Завдання керування приводами карданного підвісу полягає в таких поворотах його рамок на кути $\tilde{\theta}$, $\tilde{\varphi}$, $\tilde{\psi}$, при яких СК $O_U V W$ співпадатиме з необхідною орієнтацією ВД, обумовленої СК $O_T U_T V_T W_T$. З урахуванням сказаного й виразів (4.13) і (4.14) необхідні кути повороту рамок кардана визначаються як розв'язок матричного рівняння:

$$\mathbf{D}(\tilde{\theta}, \tilde{\psi}, \tilde{\varphi}) = \mathbf{C}(\theta_T, \varphi_T, \alpha, \beta, \gamma). \quad (4.15)$$

Даний розв'язок може бути виражений у вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tilde{\psi} = \arcsin(-c_{1,3}); \\ \tilde{\varphi} = \arcsin\left(\frac{c_{2,3}}{\cos \tilde{\psi}}\right), \text{ якщо } \frac{c_{3,3}}{\cos \tilde{\psi}} \geq 0; \\ \tilde{\varphi} = \pi \operatorname{sign}\left(\frac{c_{2,3}}{\cos \tilde{\psi}}\right) - \arcsin\left(\frac{c_{2,3}}{\cos \tilde{\psi}}\right), \text{ якщо } \frac{c_{3,3}}{\cos \tilde{\psi}} < 0; \\ \tilde{\theta} = \arcsin\left(\frac{c_{1,2}}{\cos \tilde{\psi}}\right), \text{ якщо } \frac{c_{1,1}}{\cos \tilde{\psi}} \geq 0; \\ \tilde{\theta} = \pi \operatorname{sign}\left(\frac{c_{1,2}}{\cos \tilde{\psi}}\right) - \arcsin\left(\frac{c_{1,2}}{\cos \tilde{\psi}}\right), \text{ якщо } \frac{c_{1,1}}{\cos \tilde{\psi}} < 0. \end{array} \right. \quad (4.16)$$

де $c_{i,j}$ – елементи матриці $\mathbf{C}(\theta, \varphi, \alpha, \beta, \gamma)$.

Оскільки функція арксинуса неоднозначна, то при обчисленні необхідного кута повороту ψ середньої рамки кардана отримуємо два значення:

$$\tilde{\psi}_1 = \arcsin(-c_{1,3}); \tilde{\psi}_2 = \pi - \arcsin(-c_{1,3}),$$

які при розв'язку системи (4.16) дають два набори кутів повороту рамок кардана.

На практиці конструктивно звичайно обмежують можливі кути прокачування внутрішньої й середньої рамки карданного підвісу в межах

$\left[-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}\right]$ Якщо припустити, що виконується умова:

$$\begin{cases} \alpha \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]; \\ \beta \in \left[-\frac{\pi}{2} + \varphi_p, \frac{\pi}{2} - \varphi_p\right]; \\ \gamma \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]. \end{cases} \quad (4.17)$$

де φ_p – кут місця напрямку на об'єкт у СК $OUVW$, тоді область можливих рішень матричного рівняння (4.15) має вигляд

$$\begin{cases} \tilde{\theta} \in [-\pi, \pi]; \\ \tilde{\varphi} \in \left[-\frac{\pi}{2} + \varphi_p, \frac{\pi}{2} - \varphi_p\right]; \\ \tilde{\psi} \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]. \end{cases} \quad (4.18)$$

У силу обмеженості кута крену й місця, необхідні кути повороту рамок кардана можуть бути знайдені у вигляді

$$\begin{cases} \tilde{\psi} = \arcsin(-c_{1,3}); \\ \tilde{\varphi} = \arcsin\left(\frac{c_{2,3}}{\cos\tilde{\psi}}\right); \\ \tilde{\theta} = \arcsin\left(\frac{c_{1,2}}{\cos\tilde{\psi}}\right), \text{ якщо } \frac{c_{1,1}}{\cos\tilde{\psi}} \geq 0; \\ \tilde{\theta} = \pi \operatorname{sign}\left(\frac{c_{1,2}}{\cos\tilde{\psi}}\right) - \arcsin\left(\frac{c_{1,2}}{\cos\tilde{\psi}}\right), \text{ якщо } \frac{c_{1,1}}{\cos\tilde{\psi}} < 0. \end{cases} \quad (4.19)$$

Розв'язок (4.19) матричного рівняння (4.15) при обмеженнях (4.17) і обмежених кутах прокачування внутрішньої й середньої рамки кардана є єдиним. Дане твердження є вірним у силу того, що положення тривимірної СК $OXYZ$, що описує розташування рамок карданного підвісу в просторі, щодо іншої СК (у цьому випадку $O\xi\eta\zeta$) однозначно визначається трьома кутами обертання $\tilde{\theta}, \tilde{\varphi}, \tilde{\psi}$ з областю значень (4.18) навколо координатних осей $OXYZ$.

При використанні двоосьового карданного підвісу для відпрацювання неузгодженості напрямку на об'єкт і оптичної осі необхідні кути повороту обчислюються по тим же співвідношенням, що і для тривісного кардана, тільки необхідно кут крену прийняти рівним нулю градусів ($\psi = 0$), тому що в кардані відсутня рамка обкатування по крену.

При автоматизованому супроводженні об'єкта величини θ_t, φ_t , що входять в c_{ij} , можна визначити шляхом перекладу координат вектора \overline{OP} , спрямованого на супроводжуваний об'єкт, зі СК $OUVW$ у систему $O\xi\eta\zeta$.

Координати зазначеного вектора в системі $OUVW$ можуть бути визначені по координатах центру об'єкта на зображенні. Модель зображення в системі супроводу із тривісним карданним підвісом збігається з раніше описаною моделлю, що відображена на рис. 3.8.

Проекції вектора \overline{OP} , просторово орієнтованого на супроводжуваний PO , на осі СК $OUVW$ з урахуванням паралельності площин $ABCD$ і OUV рівні X_p, Y_p, Z_p . Таким чином, координати вектора \overline{OP} , що збігається з напрямком на

об'єкт, у СК $OUVW$ рівні:

$$U_p = X_p; V_p = R; W_p = Y_p. \quad (4.20)$$

Зміна модуля вектора не змінює його напрямку, тому, враховуючи, що $R = 1$, перетворимо проекції (4.20), і одержимо вектор $\overline{OP'}$ з координатами

$$\begin{aligned} U'_p &= \frac{X_p}{X_d} \frac{X_d}{R} = \frac{N_{Xp}}{N_{Xd}} \operatorname{tg} \theta_d; \\ V'_p &= 1; \\ W'_p &= \frac{Y_p}{Y_d} \frac{Y_d}{R} = \frac{N_{Yp}}{N_{Yd}} \operatorname{tg} \varphi_d, \end{aligned} \quad (4.21)$$

де N_{Xp} , N_{Yp} , N_{Xd} , N_{Yd} – представлення відповідних величин у пікселях зображення, що реально оброблюється.

Враховуючи вищезазначене, проекції (4.21) вектора $\overline{OP'}$ можемо замінити проекціями одиничного вектора $\overline{OP_1}$:

$$\begin{aligned} U_{p1} &= \frac{\frac{N_{Xp}}{N_{Xd}} \operatorname{tg} \theta_d}{\|\overline{OP'}\|} = \frac{\frac{N_{Xp}}{N_{Xd}} \operatorname{tg} \theta_d}{\sqrt{1 + \left(\frac{N_{Xp}}{N_{Xd}} \operatorname{tg} \theta_d\right)^2 + \left(\frac{N_{Yp}}{N_{Yd}} \operatorname{tg} \varphi_d\right)^2}}; \\ V_{p1} &= \frac{1}{\|\overline{OP'}\|} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{N_{Xp}}{N_{Xd}} \operatorname{tg} \theta_d\right)^2 + \left(\frac{N_{Yp}}{N_{Yd}} \operatorname{tg} \varphi_d\right)^2}}; \\ W_{p1} &= \frac{\frac{N_{Yp}}{N_{Yd}} \operatorname{tg} \varphi_d}{\|\overline{OP'}\|} = \frac{\frac{N_{Yp}}{N_{Yd}} \operatorname{tg} \varphi_d}{\sqrt{1 + \left(\frac{N_{Xp}}{N_{Xd}} \operatorname{tg} \theta_d\right)^2 + \left(\frac{N_{Yp}}{N_{Yd}} \operatorname{tg} \varphi_d\right)^2}}. \end{aligned}$$

Для визначення кутів θ_T , φ_T , здійснимо перерахування отриманих проєкцій вектора, що описує напрямок на супроводжуваний об'єкт, у СК $O\xi\eta\zeta$ у такий спосіб [25, 28]:

$$\begin{bmatrix} \xi_1 \\ \eta_1 \\ \zeta_1 \end{bmatrix} = \mathbf{B}^T(\alpha, \beta, \gamma) \mathbf{D}^1(\theta, \varphi, \psi) \begin{bmatrix} U_{p1} \\ V_{p1} \\ W_{p1} \end{bmatrix}. \quad (4.22)$$

По координатах ξ_1 , η_1 , ζ_1 у декартовій СК легко визначити кутові координати θ_T , φ_T вектора $\overline{\mathbf{OP}}_1$, спрямованого на супроводжуваний об'єкт (рис. 4.14).

Кут азимута θ_T і місця φ_T визначаються по наступних співвідношеннях:

$$\theta_T = \operatorname{arctg} \frac{-\xi_1}{\eta_1}, \quad \varphi_T = \operatorname{arctg} \frac{\zeta_1}{\sqrt{\xi_1^2 + \eta_1^2}}. \quad (4.23)$$

Для визначення кутів θ_T , φ_T , $\tilde{\theta}$, $\tilde{\varphi}$, $\tilde{\psi}$ інформація про кути хитання носія α , β , γ і кутах повороту рамок карданного підвісу θ , φ , ψ надходить із відповідних датчиків кутів у моменти часу, синхронізовані з одержанням кадрів зображень.

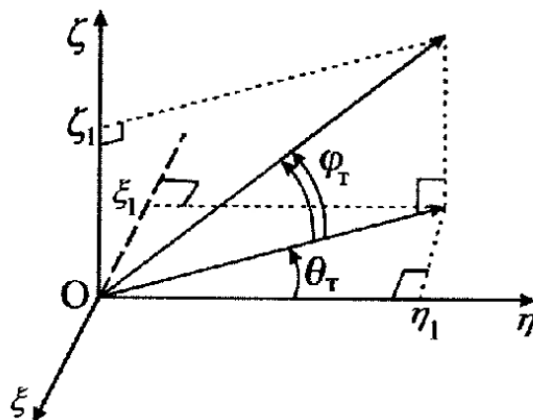


Рис. 4.14 Визначення кутових координат напрямку на об'єкт

Таким чином, алгоритм керування приводами системи ТрС із триосьовим карданом складатиметься за наступних етапів:

Етап 1. Формування відеокадрів з періодом дискретизації T_1 у моменти часу $t_i = lT_1, l = 0, 1, 2, \dots$

Етап 2. Визначення координат N_{XP}, N_{YP} центру P зображення супроводжуваного об'єкта на поточному відеокадрі. У випадку не виявлення об'єкта виробляється сигнал про зникнення об'єкта.

Етап 3. Визначення координат $[\xi_1 \ \eta_1 \ \zeta_1]^T$ одиничного вектора $\overline{OP}_1 = \overline{OP} / \|\overline{OP}\|$, що збігається з напрямком на об'єкт, за виразом (4.22).

Етап 4. Обчислення кутових координат θ_T, φ_T вектора \overline{OP}_1 , у нерухомо орієнтованій СК $O\xi\eta\zeta$ за виразом (4.23).

Етап 5. Обчислення, шляхом прогнозування міжкадрових координат, вектора \overline{OP}_1 , у СК $O\xi\eta\zeta$ для моментів часу $t_1 + \tau + iKT$, де $K = T_1/T$. У випадку короткочасного зникнення інформації про положення об'єкта на зображенні необхідні кути повороту обчислюються на основі прогнозу з використанням поточного обмеженого масиву значень раніше обчислених координат.

Етап 6. Обчислення необхідних кутів повороту рамок кардана в СК носія $OXYZ$ відповідно до системи рівнянь (4.19) при обмеженнях (4.18).

Етап 7. Формування керуючих сигналів на приводи відповідно до обраного закону керування.

Підвищення точності супроводу в порівнянні з розглянутими системами ТрС у п. 2.6. досягається за рахунок обчислення міжкадрових координат у нерухомо орієнтованій СК шляхом кращої апроксимації траєкторії об'єкта, неспотвореною хитанням носія. Використання інформації про кути хитання носія й тривісного кардана дозволяє стабілізувати фоноцільову обстановку на зображенні. Це веде до підвищення точності супроводу, крім цього, по стабілізованому зображенню зручніше працювати операторові.

Висновки до розділу 4

1. Розроблено комп'ютеризовану систему у вигляді комп'ютерної моделі системи траєкторного стеження із застосуванням методу експоненціального згладжування.
2. Розглянуто застосування зазначеної комп'ютеризованої системи в реальних об'єктах, та обґрунтовано алгоритм взаємодії особи, що приймає рішення з системою траєкторного стеження.
3. Запропоновано застосування двох методик – з використанням показників гіротахометрів та таких, що ґрунтується виключно на обробці відеозображення.
4. Наведено результати проведених експериментів моделювання запропонованих методик з метою дослідження залежностей точності супроводження від різних параметрів.
5. Обґрунтовано застосування комп'ютеризованої системи з використанням триосьової системи траєкторного стеження, що дозволить підвищити точність та швидкодію існуючих систем.

Список використаних джерел до розділу 4

- 1 Шелуха А.О. Совершенствование структуры идентификации параметров сложных технических систем / А.О. Шелуха // Вісник Інженерної академії України. – 2015. – №2. – С. 173–176.
- 2 Квасніков В.П. Система захоплення та супроводу об'єктів в динамічних системах / В.П. Квасніков, О.О. Шелуха // Вісник Інженерної академії України. – 2015. – №4. – С. 80–83.
- 3 Шелуха О.О. Обробка інформації в системах стеження за динамічними об'єктами / О.О. Шелуха / Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості. – 2016. – №1. – С. 87–91.

4 Квасніков В.П. Розробка інформаційної моделі системи відеосупроводження засобами візуального програмування / В.П. Квасніков, О.О. Шелуха // Вісник Інженерної академії України. – 2019. – №1. – С. 34-37.

5 Квасніков В.П. Комп'ютеризована система відеосупроводження на базі мобільного комплексу. / В.П. Квасніков, О.О. Шелуха // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2019. – № 2. – С. 112-117.

6 Designing a computerized information processing system to build a movement trajectory of an unmanned aircraft vehicle / Kvasnikov V., Ornatskyi D., Graf M., Shelukha O. – Eastern European Journal of Enterprise Technologies, – №1/9 (109) 2021. – pp. 33-42. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225501>.

7 Жук С.Я. Адаптивная фильтрация параметров движения маневрирующего объекта в прямоугольной системе координат / С.Я. Жук, В.И. Кожевникова, В.В. Юзефович // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. – 2009. – Т. 11, № 2. – С. 12–24.

8 Таха Х.А. Введение в исследование операций / Х.А. Таха; [Пер. с англ.]. – [7-е издание]. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 912 с.

9 Кузьмин С.З. Основы теории цифровой обработки радиолокационной информации / С.З. Кузьмин. – М.: «Сов. радио», 1974. – 432 с.

10 Экспериментальная механика / Под ред. А. Кобаяси; [Пер с англ.]. – М., Мир, 1990. – Кн. 2. – 552 с.

11 Форсайт Дж. Машинные методы математических вычислений / Дж. Форсайт, М. Малькольм, К. Моулдер. — М.: Мир, 1980. – 280 с.

12 Проектирование следящих систем / [Рабинович Л.И. и др.]. – М.: Машиностроение, 1969. – 500 с.

13 Николаев Ю.А. Динамика цифровых следящих систем / Ю.А. Николаев, В.П. Петухов, Г.И. Феклистов, Б.К.Чемоданов. – М.: Энергия, 1970. – 496 с.

- 14 Бесекерский В.А. Динамический синтез систем гироскопической стабилизации / В.А. Бесекерский, Е.А. Фабрикант. – Л.: Судостроение, 1968. – 348 с.
- 15 Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – [7-е изд.] – М.: Наука, 2001. – 575 с.
- 16 Солодовников И.И. Статистическая динамика линейных систем автоматического управления / И.И. Солодовников. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1960. – 655 с.
- 17 Математические основы теории автоматического регулирования / [Иванов В.А., Медведев В.С., Чемоданов Б.К., Ющенко А.С.; ред. Б.К. Чемоданов]. – М.: Высшая школа, 1977. – Т. 2. – 455 с.
- 18 Жиль Ж. Теория и техника следящих систем / Ж. Жиль, М. Пелегрэн, П. Декольн. – М.: Машгиз, 1961. – 804 с.
- 19 Бесекерский В.А. Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – [Изд. 4-е, перераб. и доп.]. – СПб.: Профессия, 2004. – 752 с.
- 20 Следящие приводы: в 3 т. / [Блейз Е.С., Зимин А.В., Смирнов Е.С. и др.; ред. Чемоданов Б.К.]. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана Н.Э., 1999. – Т.1: Теория и проектирование следящих приводов. – [Изд. 2-е, перераб. и доп.]. – 1999. – 903 с.
- 21 Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-и т. / [Под ред. Пулкова К. А. Егупова Н. Д.]; – [Изд. 2-е, перераб. и доп.] – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2004. – Т.1: Математические модели, динамические характеристики и анализ систем автоматического управления. – 2004. – 656 с.
- 22 Алпатов Б.А. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление / Б.А. Алпатов, О.Е. Балашов, А.И. Степашкин. – М.: Радиотехника, 2008. – 176 с.

23 Алпатов Б.А. Алгоритм электронной стабилизации фона по опорным участкам в последовательности видеоизображения / Б.А. Алпатов, И.В. Стротов // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций. – Рязань, 2004. – С. 64-65.

24 Бабаян П.В. Методы оценки геометрических преобразований изображения для бортовой видеоинформационной системы / П.В. Бабаян, В.В. Стротов // Тез. докл. Всероссийской научно-технической конференции. Информационно-телекоммуникационные технологии. – Сочи, 2004, с. 7-8.

25 Алпатов Б.А. Формирование управления приводами трёхосного карданного подвеса в системе сопровождения объектов / Б.А. Алпатов, О.Е. Балашов, А.И. Степашкин // Изв. вузов. Сер. Приборостроение. –2006. – Т. 49, №5. – С. 24-28.

26 Балашов О.Е. Повышение точности сопровождения объектов в системе видеослежения / О.Е. Балашов // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2006. – №18. – С. 45-49.

27 Ривкин С.С Теория гироскопических устройств : в 2 ч. / С.С. Ривкин. – Л.: Судпромгиз, 1962. – Ч.1. – 508 с.

28 Корн Г.А. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Определения, теоремы, формулы: Пер. со 2-го амер. изд / Г.А.Корн, Т.М.Корн. – М.: Наука, 1984. – 832 с.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі отримані нові наукові результати, які у відповідності до мети дослідження є вирішенням актуальної науково-технічної задачі розробки комп'ютеризованої системи обробки інформації при відеосупроводженні рухомих об'єктів на базі мобільних комплексів

При цьому отримано такі нові наукові та практичні результати:

1. Проведено аналіз науково-технічної літератури стосовно існуючих систем відеоспостереження та траєкторного супроводу рухомих об'єктів, визначено потреби у розробці систем алгоритмічного, апаратно-програмного забезпечення та створенні систем обробки цієї інформації на базі комп'ютеризованих та інформаційно-вимірювальних систем.

2. Розроблено модель системи траєкторного стеження, що базується на використанні фільтру Калмана та експоненційного згладжування, що забезпечує підвищення точності та швидкодії обробки інформації системами контролю параметрів процесу відеосупроводження рухомих об'єктів.

3. Розроблено метод обробки даних, що базується на моделі траєкторного стеження, та дозволяє організувати процеси отримання, обробки та збереження даних для систем відеоспостереження та супроводження рухомих об'єктів, і дозволяє працювати в автоматизованому режимі.

Запропоновано модель руху інформаційних потоків в системі відеоспостереження. Визначено підсистему траєкторного стеження, як складову системи прийняття рішень. Вдосконалено метод контролю параметрів процесу відеосупроводження рухомих об'єктів, що базується на застосуванні багатокритеріальної оптимізації обробки інформації і відрізняється від відомих тим, що в процесі відеоспостереження забезпечує можливість чіткого визначення цілей, набору дій та прийняття оптимального рішення в процесі руху мобільного комплексу в умовах невизначеності зовнішнього середовища.

Розроблено метод керування комп'ютеризованою системою відеосупроводження, що включає метод обробки даних, метод керування системою та програмне забезпечення для моделювання системи траєкторного стеження і дає можливість виконувати автоматизоване відеосупроводження рухомих об'єктів оператором мобільного комплексу.

4. Розроблено модель обробки даних із застосуванням системи траєкторного стеження, граф функціонування підсистеми обробки зображення та прийняття рішень, і програмне забезпечення для дослідження комп'ютеризованої системи відеосупроводження.

5. Наведено результати впровадження та експериментального дослідження ефективності розроблених моделей та методів, визначено їх залежність від людського фактору, та детально розглянуто алгоритм взаємодії оператора з системою відеосупроводження. Використання розроблених в роботі моделей та методів, дозволяють підвищити ефективність системи супроводження рухомих об'єктів на 8%.

Запропоновано напрям подальшого розвитку методу відеосупроводження рухомих об'єктів, що базується на використанні триосьової системи траєкторного стеження, і дозволяє врахувати обертальний рух мобільного комплексу – носія системи відеосупроводження, і, в подальшому, компенсувати додаткові обрахунки, викликані хитанням, вібрацією або маневрами мобільного комплексу.

ДОДАТКИ

Акт впровадження на ПАТ «НВО «Київський завод автоматики»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший заступник
Голови Правління
Головний інженер
ПАТ «НВО «Київський
завод автоматики
ім. Г.І. Петровського»


Цірук В. Г.
2015 р.

**АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ
результатів дисертаційної роботи**

Ми, що нижче підписалися, головний метролог Малахов В.В., начальник конструкторсько-технологічного управління Возняковський А.О., в.о. начальника СКБ Петренко О.В. склали дійсний акт про те, що результати дисертаційної роботи аспіранта Шелухи Олексія Олеговича впроваджені у практику виробництва вузлів систем стабілізації блоку озброєння легкоброньованої техніки на ПАТ «НВО «Київський завод автоматики ім. Г.І. Петровського».

У роботі вирішені питання побудови інформаційної технології при прийомі, передачі та обробці інформації в блоках системи стабілізації та супроводу рухомих об'єктів, що значно сприяють підвищенню рівня точності продукції. Запропоновано методику утримування лінії візування з урахуванням впливу дестабілізуючих факторів та розроблено алгоритм прогнозування руху спостережуваного об'єкту.

Використання цих результатів кандидатської роботи Шелухи О. О. забезпечило для підприємства:

- вдосконалення системи стабілізації та фіксації лінії візування програмними засобами;
- розробку інформаційної системи супроводу об'єктів спостереження;
- розробку методики прогнозування руху об'єктів спостереження інформаційними засобами.

Комісія підтверджує, що результати дисертаційної роботи Шелухи О. О. мають значний науковий внесок в розробку системи стабілізації озброєння легко броньованих машин та супроводу рухомих об'єктів і представляють практичний інтерес для фахівців ПАТ «НВО «Київський завод автоматики ім. Г.І. Петровського».

Взаємних фінансових претензій організації не мають.

Головний метролог

Начальник КТУ

В.о. начальника СКБ





В.В. Малахов

А.О. Возняковський

О.В. Петренко

**Акт впровадження
в навчальний процес Національного авіаційного університету**

ПОГОДЖЕНО

Проректор з навчальної
та виховної роботи НАУ
Т. Іванова
"28" 10 2017 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
В. Харченко
10 2017 р.

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи

Комісія у складі: голова комісії – завідувач кафедри інформаційно-вимірювальних систем д.т.н., доцент Орнатський Д.П. та членів комісії: доцент кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій к.т.н., доцент Осмолівський О.І., асистента кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій Катаєва М.О. констатує, що результати дисертаційної роботи аспіранта кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій Національного авіаційного університету Шелухи Олексія Олеговича впроваджені у навчальний процес Національного авіаційного університету на кафедрах інформаційно-вимірювальних систем та комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій, а саме:

Найменування впровадженого результату НДР (прилад, технологічний процес, речовина, метод, методика, рекомендації, алгоритми, програми, ДСТ, технологічні вимоги, інше)	Досягнутий фактичний ефект (соціальний, технічний, організаційний, інший)
1	2
1. Методика побудови інформаційної підсистеми обробки даних в системах відеоспостереження.	1. Запропонована методика обробки даних відеоспостереження рухомого об'єкта, надають можливість ідентифікації його параметрів (швидкості, напрямку руху, геометричних характеристик тощо).
2. Метод обробки даних інформаційної підсистеми в системах відеоспостереження, на базі нових критеріїв використання правил бази знань	2. Введення нових критеріїв дає можливість оцінити порядок роботи підсистеми обробки даних та дозволяє вирішувати більш широкий спектр задач.

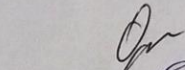
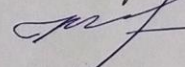
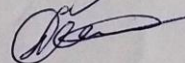
3. Математична модель ідентифікації параметрів системи контролю рухомого об'єкту	3. Розроблена математична модель дозволить відновлювати функціональні залежності (геометричні параметри) масштабовані в часі при уході об'єкта з поля зору.
--	---

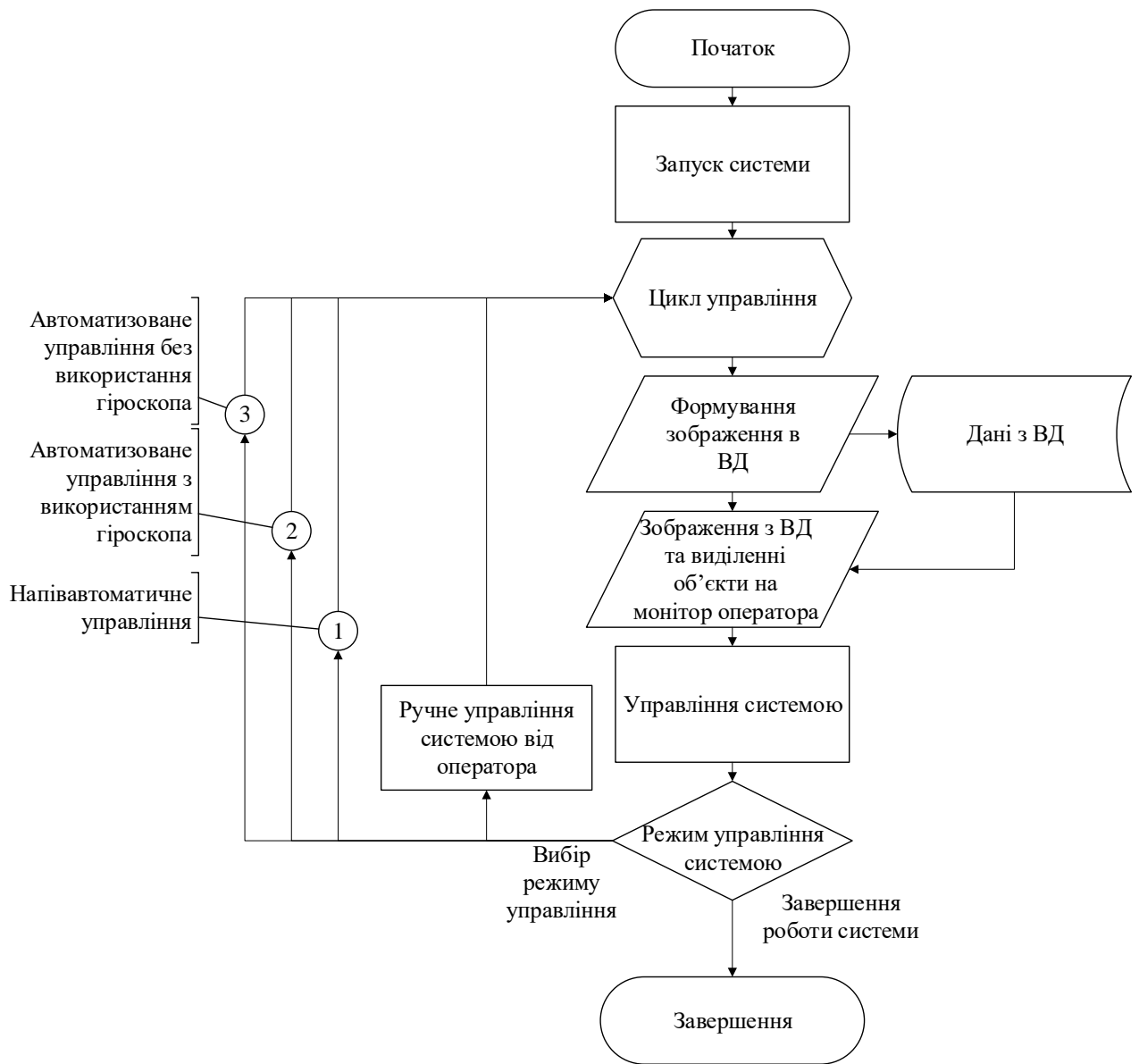
Результати дисертаційної роботи Шелухи О.О. впроваджені у навчальний процес кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій:

- використовуються у курсах лекцій з дисципліни «Основи автоматичних електроенергетичних систем» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».
- застосовуються в процесі дипломного та курсового проектування зі спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка».

Голова комісії:

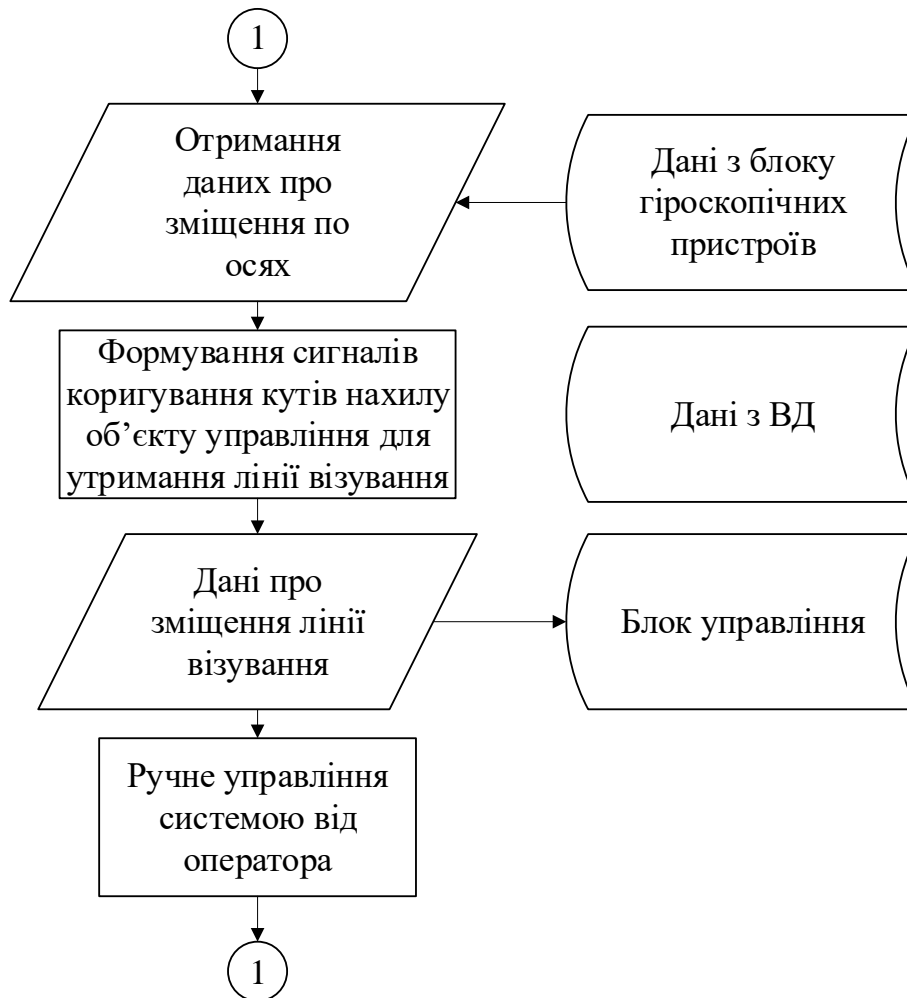
Члени комісії:

 Д.П. Орнатський
 М.О. Катаєва
 О.І. Осмоловський



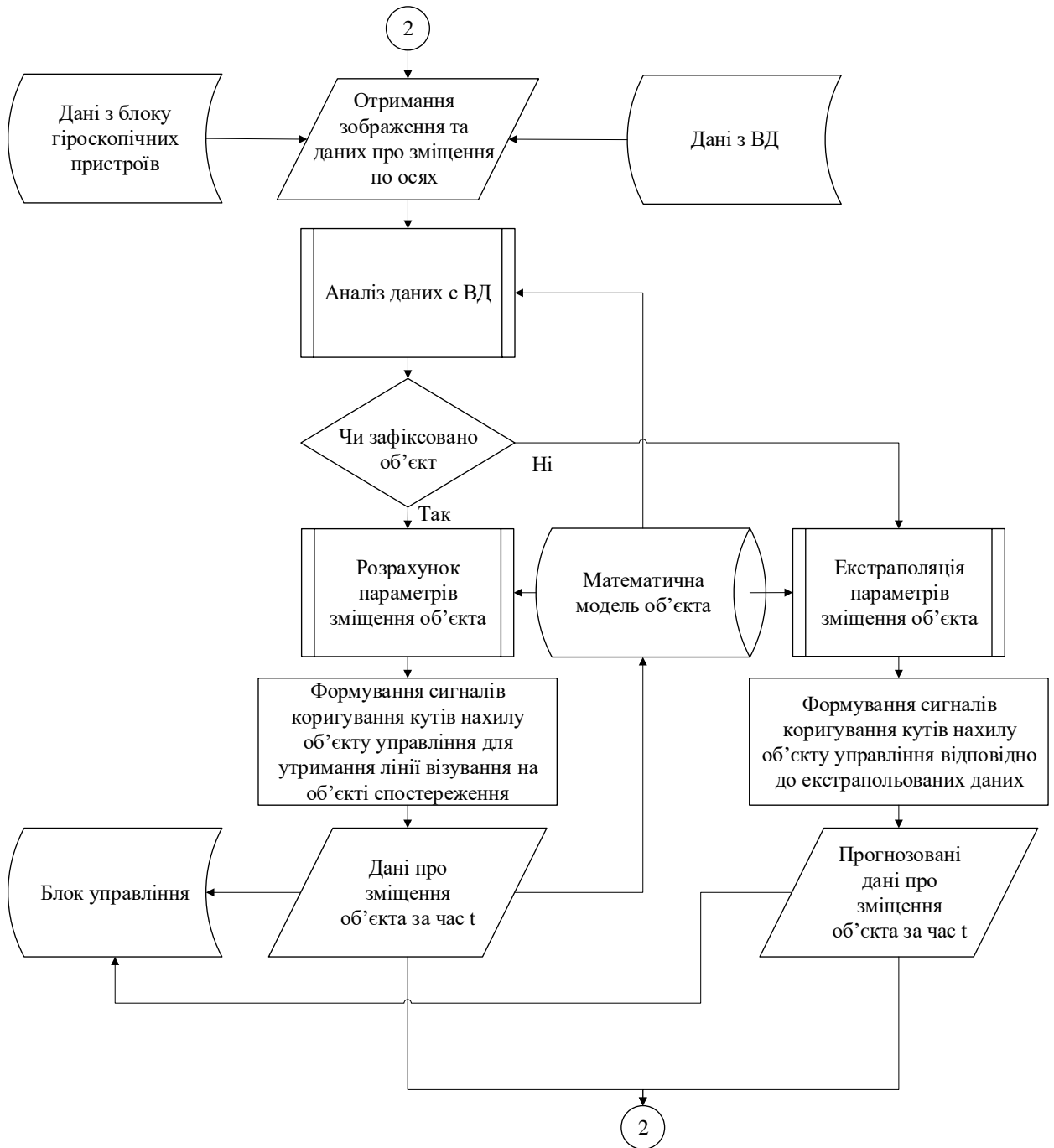
б) Основна гілка алгоритму

Режим стабілізації
фіксованої лінії візування



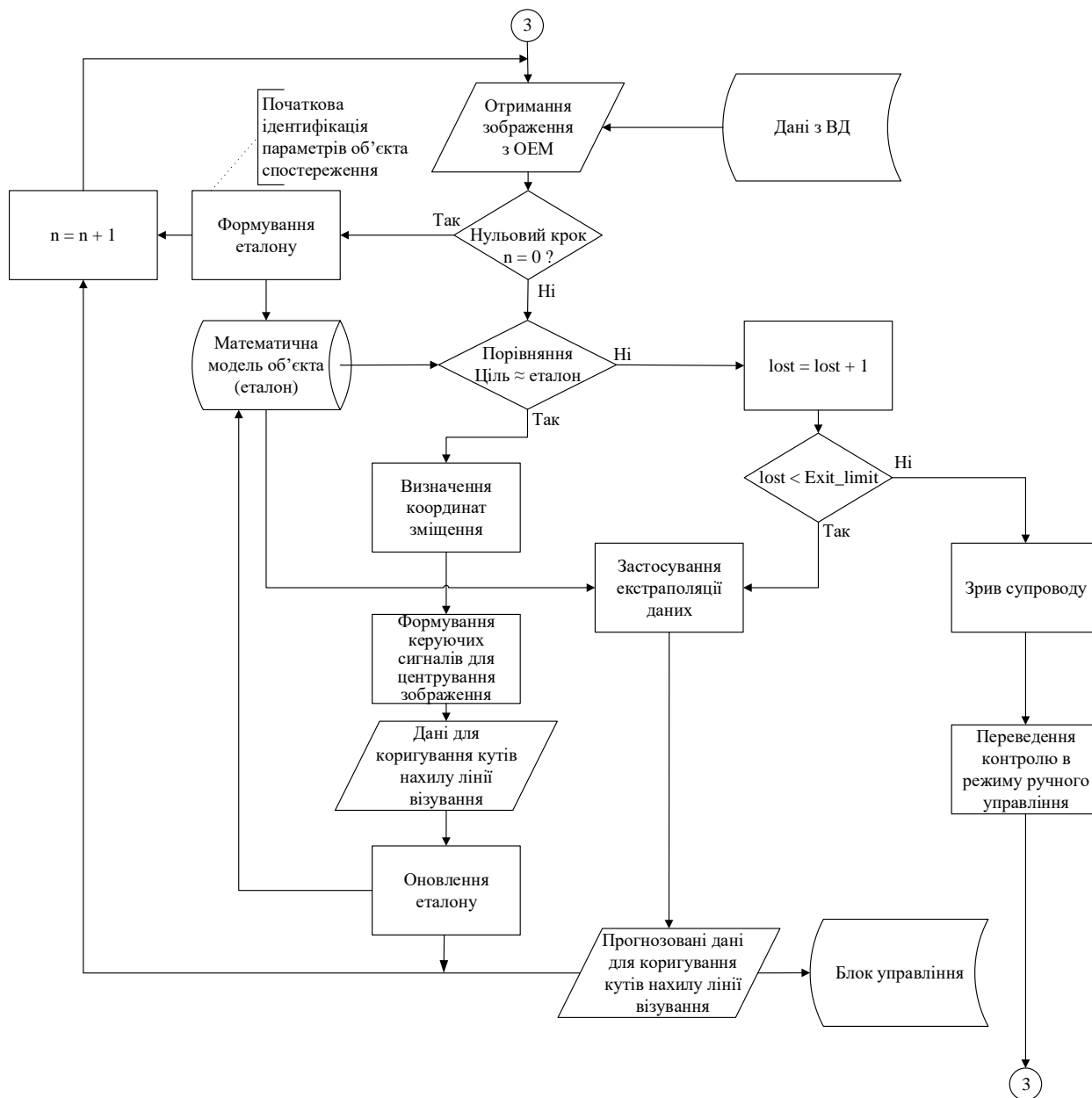
в) Гілка алгоритму, що висвітлює процес ручного управління

Режим стабілізації з використанням гіроскопічних пристроїв утриманням лінії візування на об'єкті спостереження



г) Гілка алгоритму, що висвітлює процес управління з використанням стабілізації

Режим стабілізації з утриманням лінії візування на об'єкті спостереження



д) Гілка алгоритму, що висвітлює процес управління з використанням стабілізації за відеозображенням

Моделювання роботи системи відеосупроводження у програмному комплексі

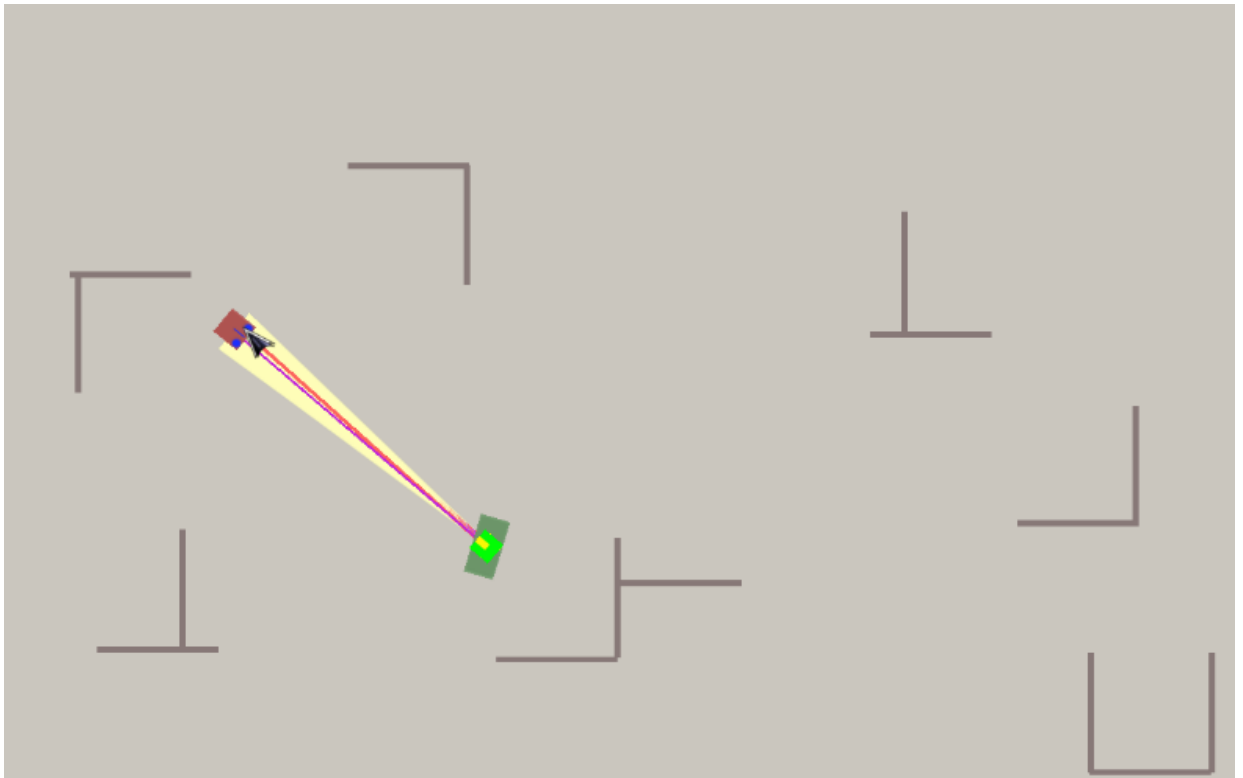
Construct 2

	Global number <code>size_auto_width = 0</code>		
	Global number <code>size_semi = 0</code>		
	Global number <code>size_auto = 0</code>		
	Global number <code>b2 = 0</code>		
	Global number <code>b1 = 0</code>		
	Global number <code>Mode = 1</code>		
	Global number <code>tower_semi_angle = 0</code>		
	Global number <code>tower_auto_angle = 0</code>		
	Global number <code>delta_angle = 0</code>		
	Global number <code>angle_to_enemy = 0</code>		
	Global number <code>patrol_point_1_x = 0</code>		
	Global number <code>patrol_point_1_y = 0</code>		
1	System Every 5.0 seconds	System	Set <code>patrol_point_1_x</code> to <code>random(25,999)</code>
		System	Set <code>patrol_point_1_y</code> to <code>random(25,640)</code>
		Enemy	Find path to (<code>patrol_point_1_x</code> , <code>patrol_point_1_y</code>)
		Text2	Set text to " <code>t_x: </code> & <code>patrol_point_1_x</code> & " <code>t_y: </code> & <code>patrol_point_1_y</code>
			Add action
2	Enemy On Pathfinding path found	Enemy	Move along path
			Add action
3	Enemy On Pathfinding arrived		Add action
4	System Every tick	Enemy	Rotate <code>random(1,4)</code> degrees toward (<code>patrol_point_1_x</code> , <code>patrol_point_1_y</code>)
		Enemy	Move forward 1 pixels
			Add action
5	System Every tick	Tower_semi	Set position to <code>My_Platform</code> (image point 0)
		Tower_semi	Pin Pin to <code>My_Platform</code> (Position only)
		Tower_semi	Rotate 0.5 degrees toward <code>tower_semi_angle</code>
		System	Set <code>delta_angle</code> to <code>tower_auto_angle - angle_to_enemy</code>
		Text2	Set text to " <code>angle2: </code> & <code>angle_to_enemy</code> & " <code>delta_angle: </code> & <code>delta_angle</code> & " <code>tower_auto_angle: </code> & <code>tower_auto_angle</code>
		System	Set <code>angle_to_enemy</code> to <code>0.3*tower_auto_angle + 0.7*(tower_auto_angle + delta_angle)</code>
		Tower_au...	Set position to <code>My_Platform</code> (image point 0)
		Tower_au...	Rotate 0.5 degrees toward <code>angle_to_enemy</code>
		Text	Set text to " <code>b1: </code> & <code>b1</code> & " <code>b2: </code> & <code>b2</code>
		System	Set <code>size_auto</code> to <code>sqrt((Tower_auto.X-Enemy.X)^2+(Tower_auto.Y-Enemy.Y)^2)</code>
		System	Set <code>size_semi</code> to <code>sqrt((Tower_semi.X-Mouse.X)^2+(Tower_semi.Y-Mouse.Y)^2)</code>
		Tower_au...	Spawn <code>View_site</code> on layer 0 (image point 0)
		Tower_semi	Spawn <code>bullet1</code> on layer 0 (image point 0)
		bullet1	Set size to (<code>size_semi</code> , 3)
		Tower_au...	Spawn <code>bullet2</code> on layer 0 (image point 0)
		View_site	Set size to (<code>size_auto</code> , <code>size_auto_width</code>)
		bullet2	Set size to (<code>size_auto</code> , 2)
			Add action
6	System <code>size_auto_width ≥ 2*size_auto</code>	View_site	Set size to (<code>size_auto</code> , <code>size_auto*2</code>)
		System	Set <code>size_auto_width</code> to <code>size_auto*2</code>
			Add action
7	System Every 0.12 seconds	bullet1	Destroy
		View_site	Destroy
		System	Set <code>size_auto_width</code> to <code>size_auto_width+2</code>
		bullet2	Destroy
			Add action
8	Keyboard W is down	My_Platt...	Simulate Car pressing Accelerate
			Add action
9	Keyboard A is down	My_Platt...	Simulate Car pressing Steer left
			Add action
10	Keyboard D is down	My_Platt...	Simulate Car pressing Steer right
			Add action
11	Keyboard S is down	My_Platt...	Simulate Car pressing Brake
			Add action
12	Tower_angle		

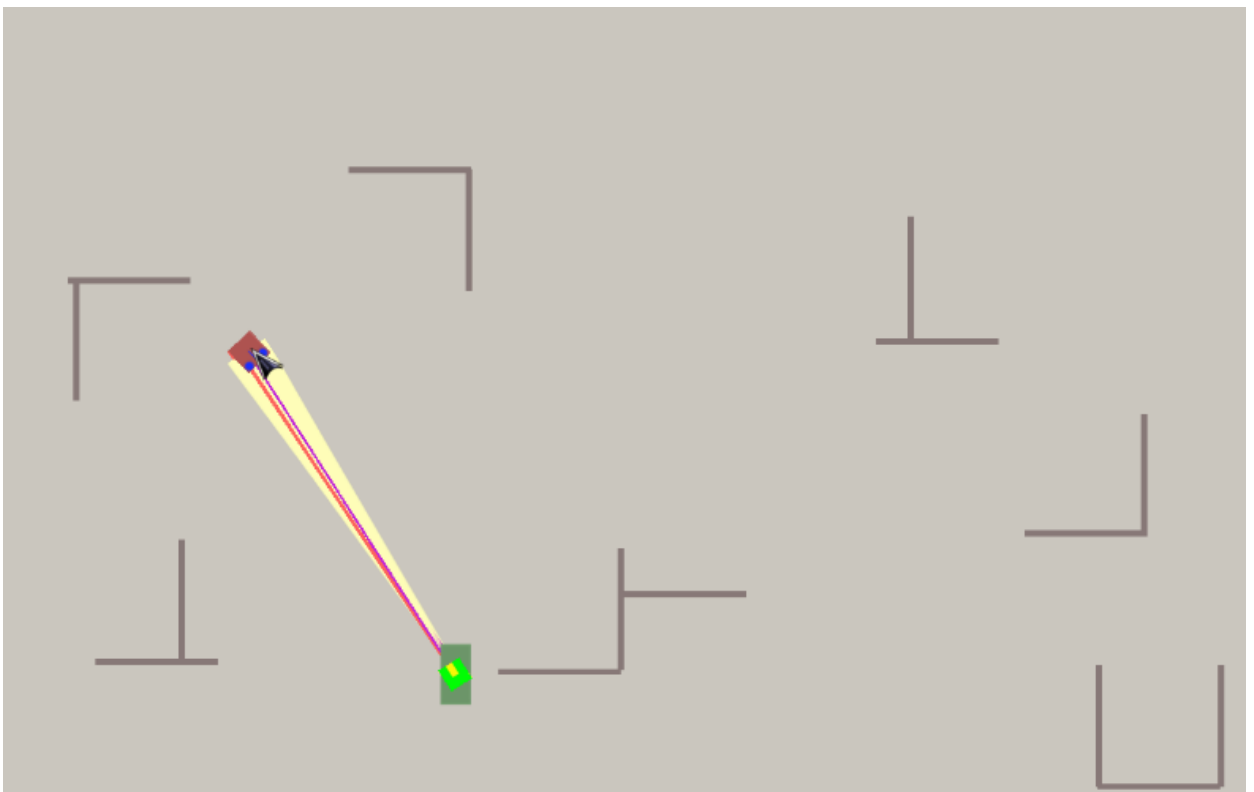
а) Запис подій та взаємодії між об'єктами

12	Tower_angle			
	System	Mouse.X \geq Tower_semi.X	System	Set tower_semi_angle to $90 - \text{atan}(\frac{\text{abs}(\text{Tower_semi.X} - \text{Mouse.X})}{\text{abs}(\text{Tower_semi.Y} - \text{Mouse.Y})})$
13	System	Mouse.Y \geq Tower_semi.Y	Add action	
	System	Mouse.X \leq Tower_semi.X	System	Set tower_semi_angle to $90 + \text{atan}(\frac{\text{abs}(\text{Tower_semi.X} - \text{Mouse.X})}{\text{abs}(\text{Tower_semi.Y} - \text{Mouse.Y})})$
14	System	Mouse.Y \geq Tower_semi.Y	Add action	
	System	Mouse.X \leq Tower_semi.X	System	Set tower_semi_angle to $270 - \text{atan}(\frac{\text{abs}(\text{Tower_semi.X} - \text{Mouse.X})}{\text{abs}(\text{Tower_semi.Y} - \text{Mouse.Y})})$
15	System	Mouse.Y \leq Tower_semi.Y	Add action	
	System	Mouse.X \geq Tower_semi.X	System	Set tower_semi_angle to $270 + \text{atan}(\frac{\text{abs}(\text{Tower_semi.X} - \text{Mouse.X})}{\text{abs}(\text{Tower_semi.Y} - \text{Mouse.Y})})$
16	System	Mouse.Y \leq Tower_semi.Y	Add action	
17	Tower2_angle2			
	System	Enemy.X \geq Tower_auto.X	System	Set tower_auto_angle to $90 - \text{atan}(\frac{\text{abs}(\text{Tower_auto.X} - \text{Enemy.X})}{\text{abs}(\text{Tower_auto.Y} - \text{Enemy.Y})})$
18	System	Enemy.Y \geq Tower_auto.Y	Add action	
	System	Enemy.X \leq Tower_auto.X	System	Set tower_auto_angle to $90 + \text{atan}(\frac{\text{abs}(\text{Tower_auto.X} - \text{Enemy.X})}{\text{abs}(\text{Tower_auto.Y} - \text{Enemy.Y})})$
19	System	Enemy.Y \geq Tower_auto.Y	Add action	
	System	Enemy.X \leq Tower_auto.X	System	Set tower_auto_angle to $270 - \text{atan}(\frac{\text{abs}(\text{Tower_auto.X} - \text{Enemy.X})}{\text{abs}(\text{Tower_auto.Y} - \text{Enemy.Y})})$
20	System	Enemy.Y \leq Tower_auto.Y	Add action	
	System	Enemy.X \geq Tower_auto.X	System	Set tower_auto_angle to $270 + \text{atan}(\frac{\text{abs}(\text{Tower_auto.X} - \text{Enemy.X})}{\text{abs}(\text{Tower_auto.Y} - \text{Enemy.Y})})$
21	System	Enemy.Y \leq Tower_auto.Y	Add action	
22	<ul style="list-style-type: none"> On clicked - or - Keyboard 1 is down 	<ul style="list-style-type: none"> Semi_aut... Set Checked Auto_mo... Set Unchecked System Set Mode to 1 	Add action	
23	<ul style="list-style-type: none"> On clicked - or - Keyboard 2 is down 	<ul style="list-style-type: none"> Semi_aut... Set Unchecked Auto_mo... Set Checked System Set Mode to 2 	Add action	
24	<ul style="list-style-type: none"> System Every tick System Mode = 1 	Tower_semi	Set angle to tower_semi_angle-degrees	Add action
25	<ul style="list-style-type: none"> System Every tick System Mode = 2 	Add action		
26	<ul style="list-style-type: none"> bullet1 On collision with Wall 	bullet1	Destroy	Add action
27	<ul style="list-style-type: none"> bullet2 On collision with Wall 	bullet2	Destroy	System Set size_auto_width to size_auto_width+2
28	<ul style="list-style-type: none"> bullet1 On collision with Enemy 	bullet1	Destroy	System Add 1 to b1
29	<ul style="list-style-type: none"> bullet2 On collision with Enemy 	bullet2	Destroy	System Set size_auto_width to size_auto_width*0.99
	Add event			

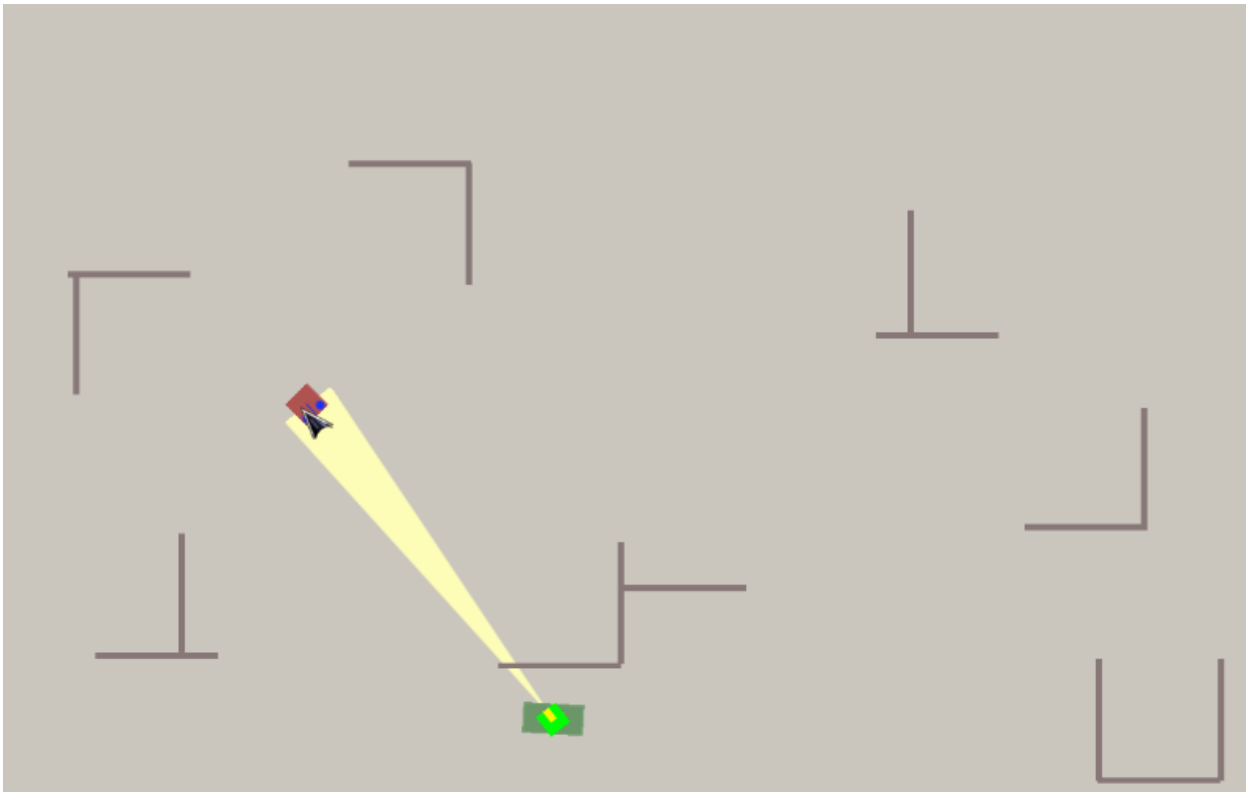
б) Запис подій та взаємодії між об'єктами



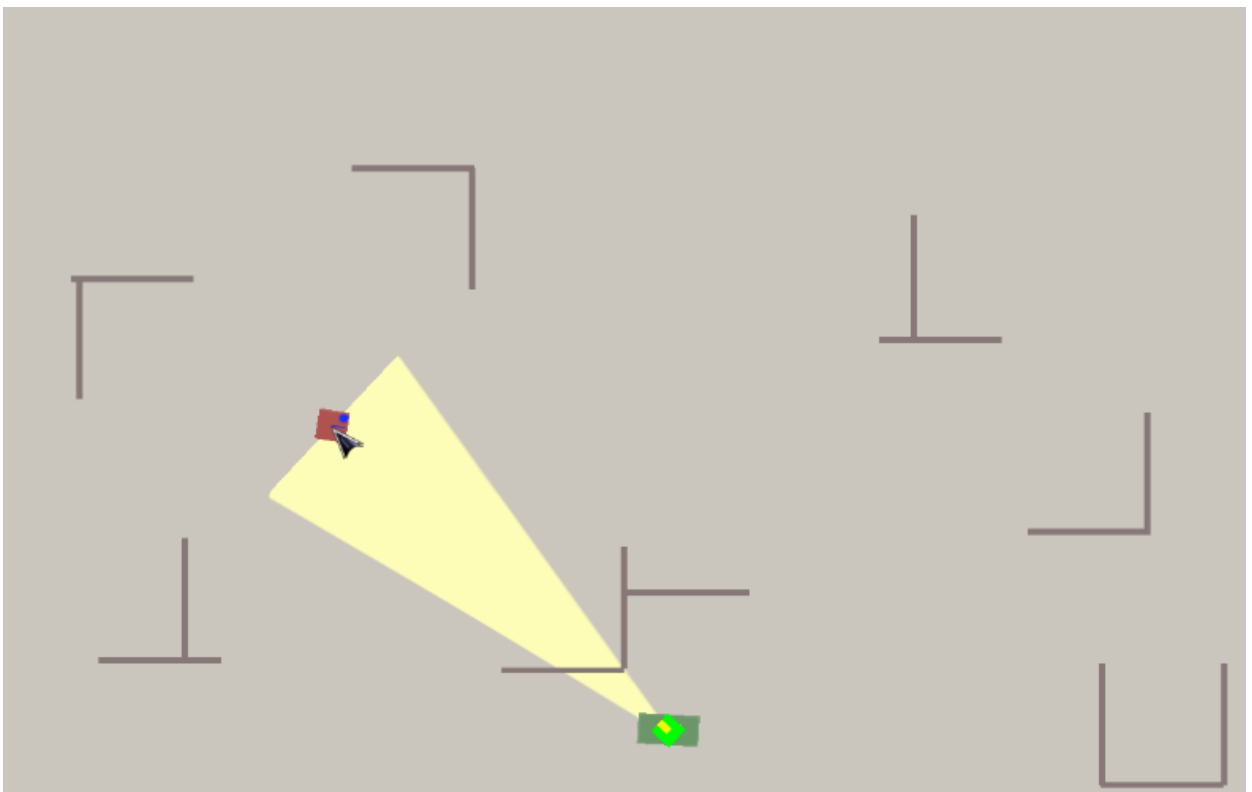
в) Вигляд процесу моделювання та проведення експерименту



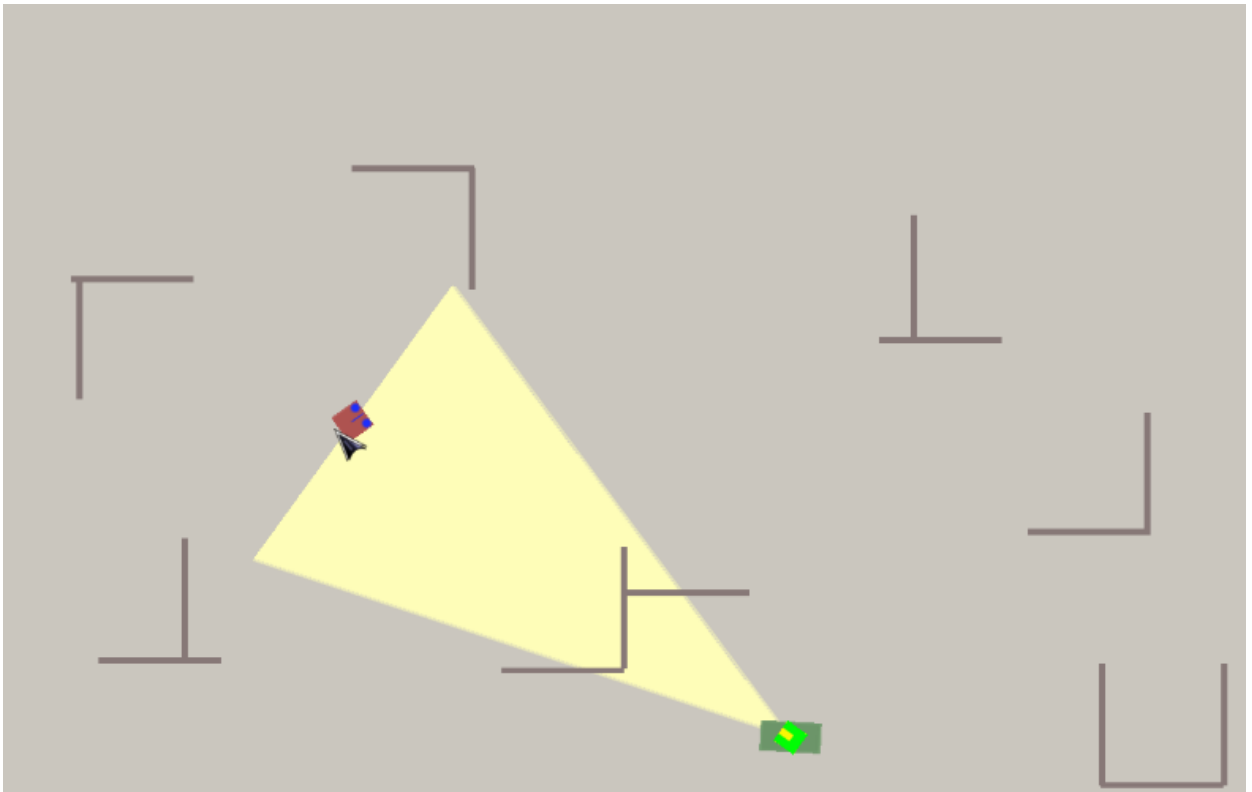
г) Вигляд процесу моделювання та проведення експерименту



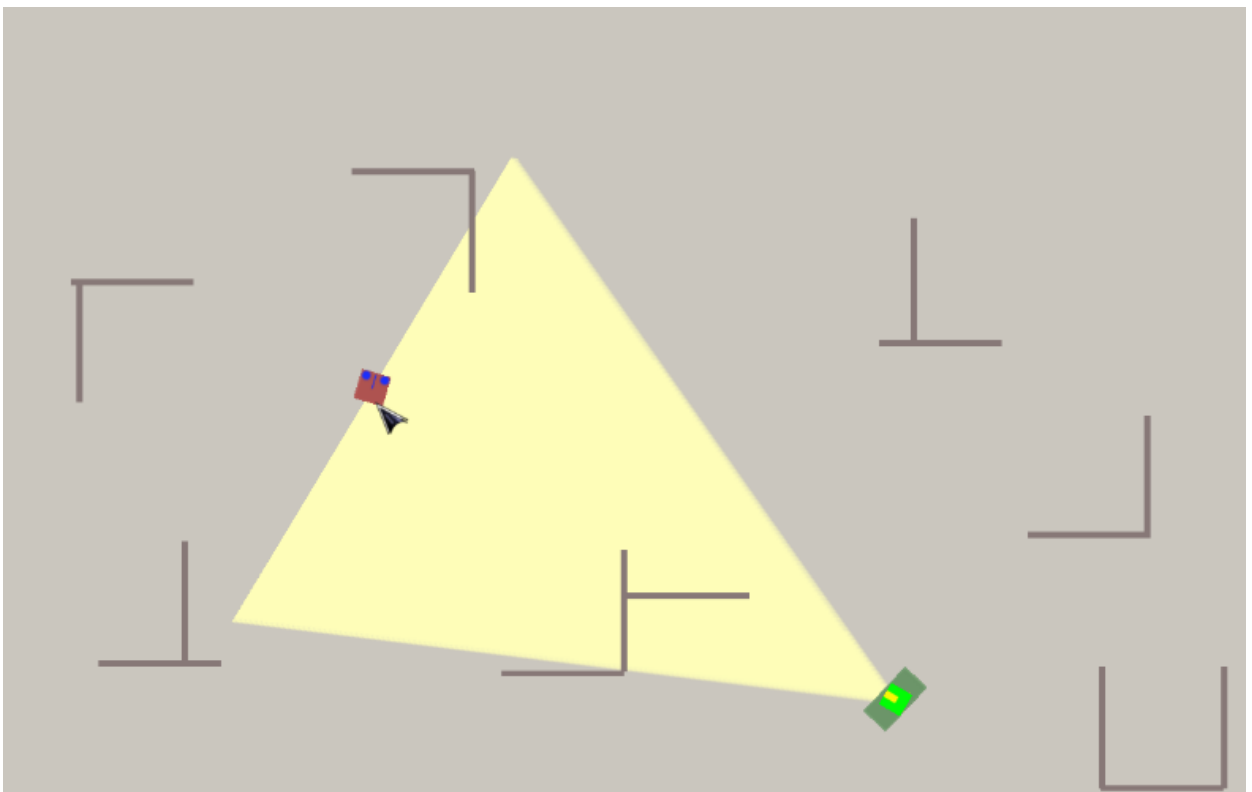
д) Вигляд процесу моделювання та проведення експерименту



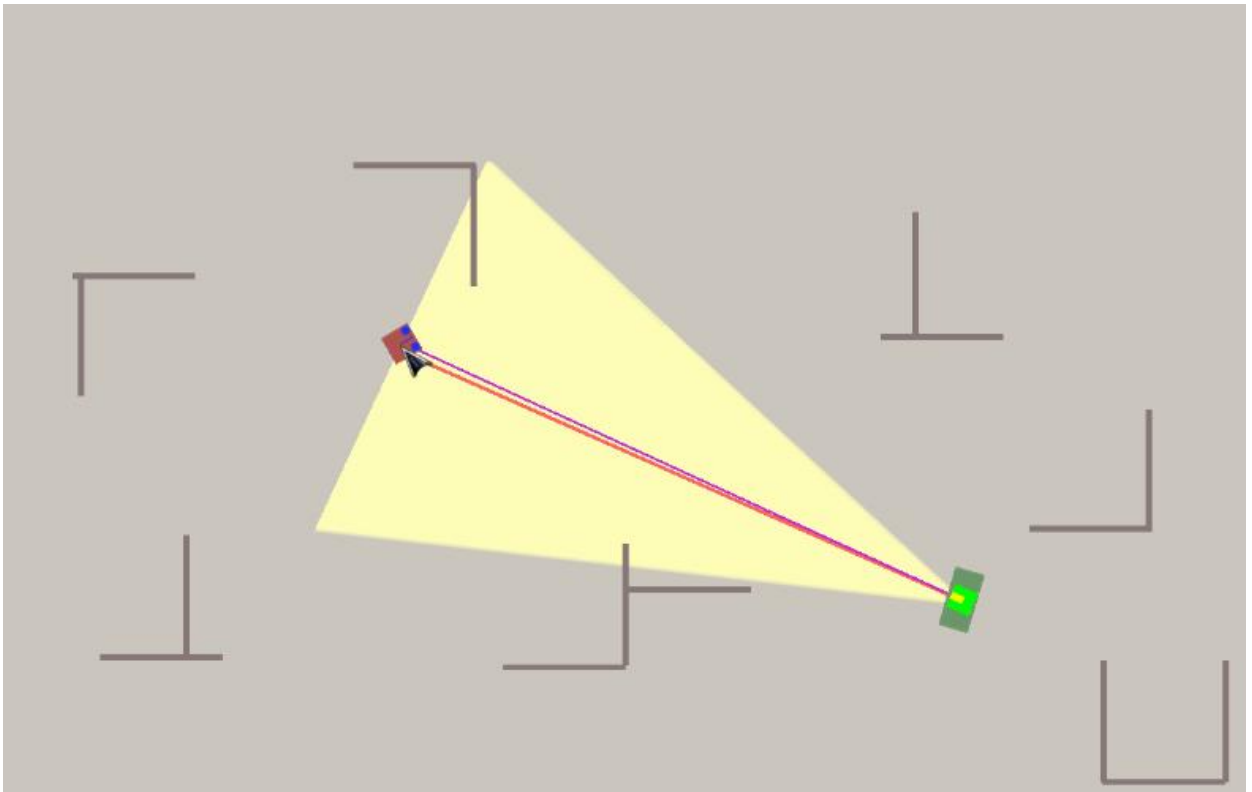
е) Вигляд процесу моделювання та проведення експерименту



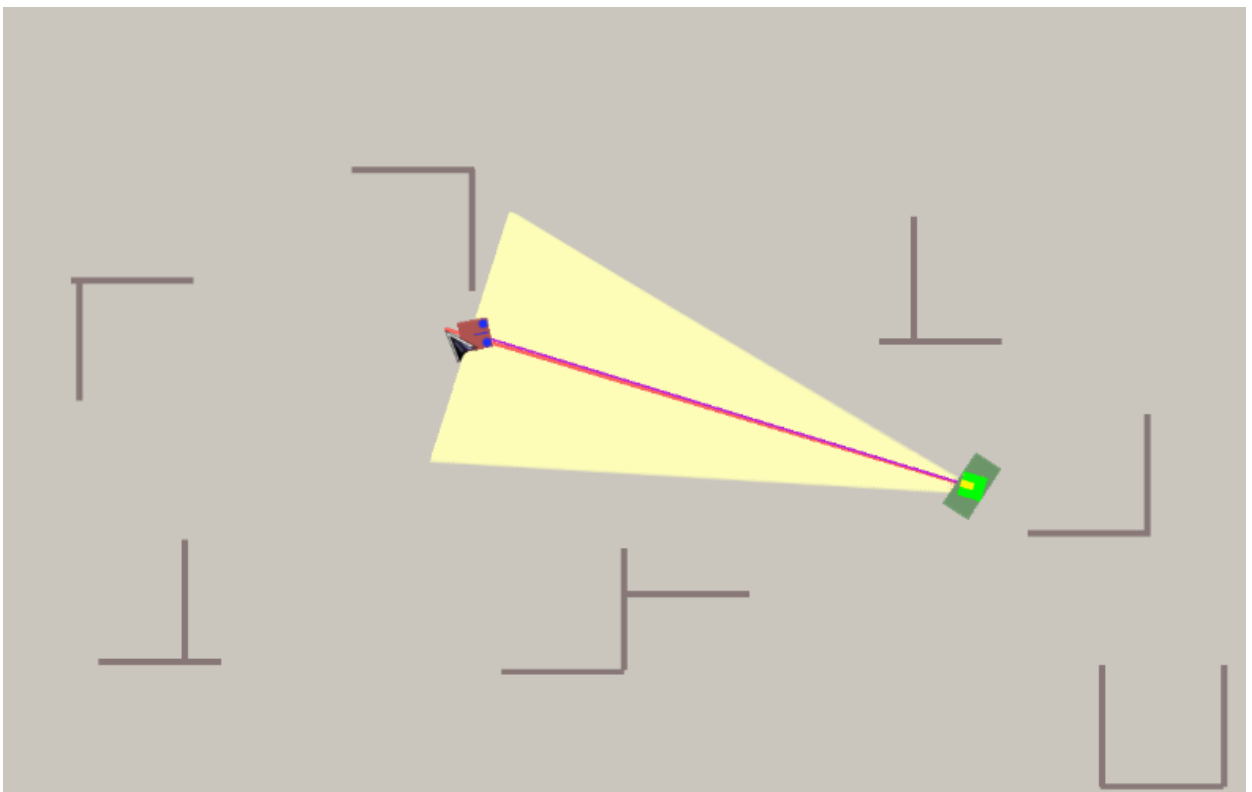
ж) Вигляд процесу моделювання та проведення експерименту



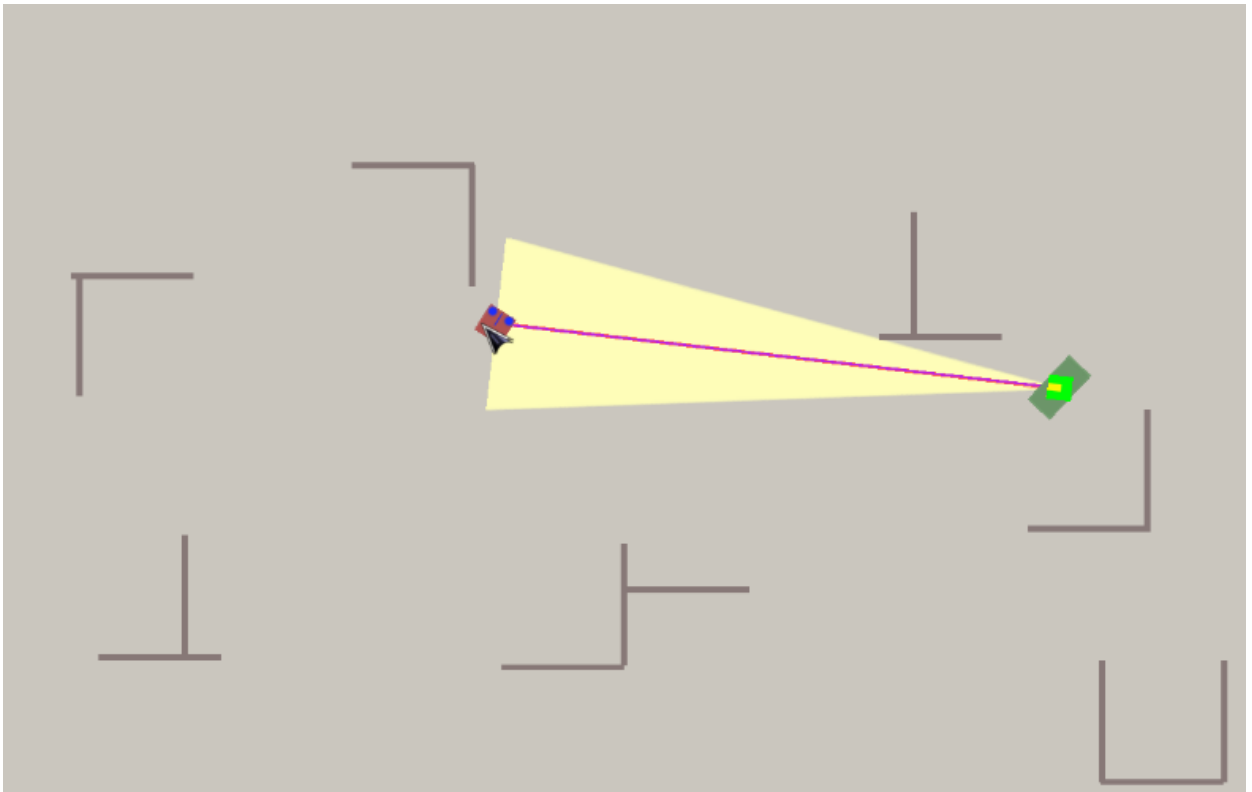
з) Вигляд процесу моделювання та проведення експерименту



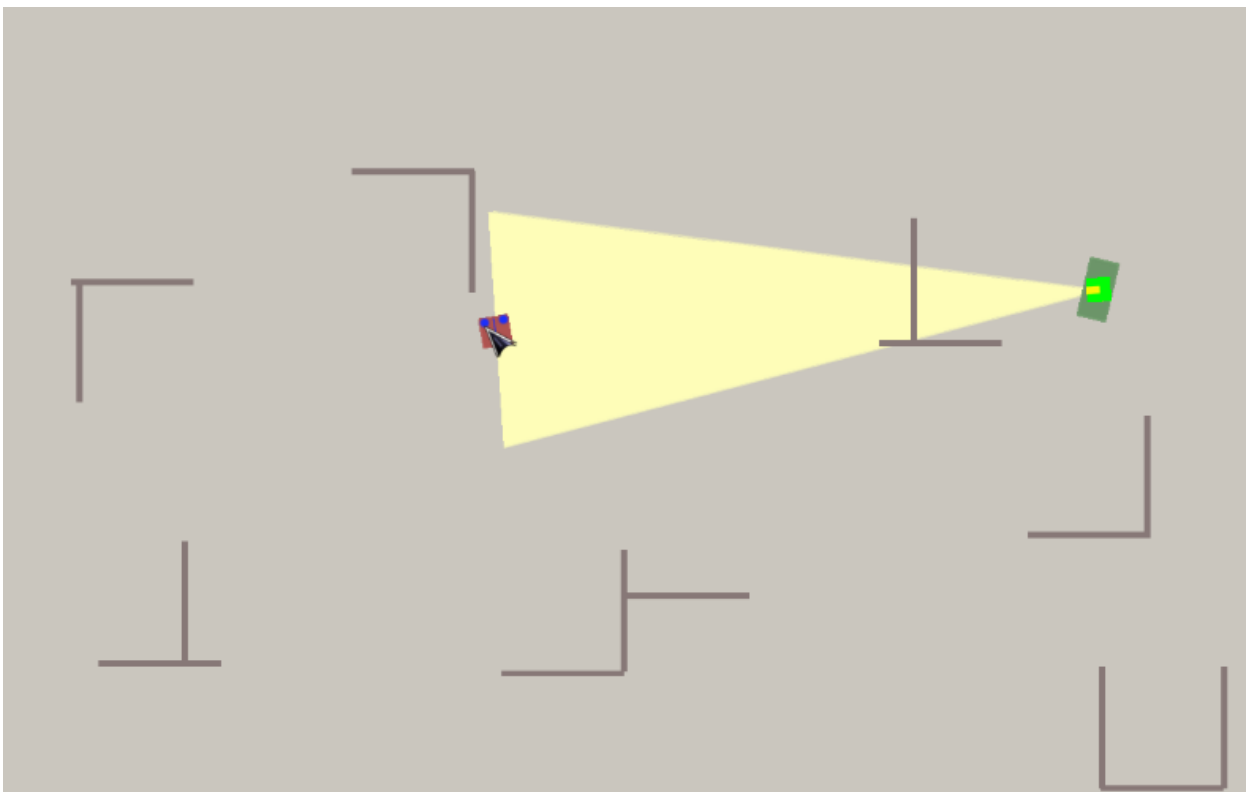
i) Вигляд процесу моделювання та проведення експерименту



к) Вигляд процесу моделювання та проведення експерименту



л) Вигляд процесу моделювання та проведення експерименту



м) Вигляд процесу моделювання та проведення експерименту