

ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**БОЙКО ВОЛОДИМИР ВОЛОДИМИРОВИЧ**

УДК 004: [656.1.07:656.05] (043)

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНИХ  
СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ТА БЕЗПЕКИ  
РУХУ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ**

05.13.06 – Інформаційні технології

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

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

\_\_\_\_\_ В. В. Бойко

Науковий керівник **Підгорний Микола Володимирович**  
кандидат технічних наук, доцент

Черкаси – 2021

## Анотація

*Бойко В.В.* Інформаційна технологія організації логістичних систем автоматизованого управління та безпеки руху міського пасажирського транспорту. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.13.06 “Інформаційні технології”. – Черкаський державний технологічний університет Міністерства освіти і науки України; Черкаський державний технологічний університет Міністерства освіти і науки України, Черкаси, 2021.

Останнім часом, як в світі, так і в Україні спостерігається активне переселення населення з сільської місцевості в міста та мегаполіси. Це пов'язано з кращими економічними та соціальними умовами праці та проживання в містах. Таке переселення, в свою чергу, веде до необхідності гнучкого розвитку та адаптації усєї інфраструктури міст під потреби населення. Цей розвиток залежить, як від структури та зонування окремих районів міст, так і від розподілу його трудових ресурсів, що залежить від основного призначення міста.

Зазвичай в містах адміністративного призначення та бізнес-центрах – основне зосередження місць роботи знаходиться в центральній частині міста, в промислових містах – в периферійних зонах, а в містах туристичного спрямування – може бути розподілене як в центральній, так і в периферійній частинах міста – в залежності від туристичних об'єктів-пам'яток, тоді як спальні райони, як правило, розташовуються в буферній частині міста – між центром та промзонами.

В той же час, переміщення населення в межах міста в основному відбувається з використанням моторних транспортних засобів: міських пасажирських або приватних. При цьому, більшість населення віддає перевагу саме міському пасажирському транспорту. Основними перевагами

пасажи́рського транспорту є висока економічна привабливість, соціальна доступність, зручність та безпека. Це підтверджується рядом наукових публікацій вітчизняних та закордонних вчених (Дауенгауер Н.А., Ігнатенко О.С., Кухтенко О.І., Новіков А.М., Соловійов Ю.А. та інших).

Проте, окрім переваг пасажирських транспортних засобів, слід зауважити на їх недоліки, серед яких: відсутність належної організації логістичних транспортних схем, недостатня автоматизація управління та забезпечення безпеки пасажироперевезень. Основними технічними причинами цих недоліків є недостатність телекомунікаційно-навігаційного та інформаційно-комп'ютерного забезпечення транспортних засобів для пасажироперевезень, а також об'єктів диспетчеризації.

Тому розроблення інформаційної технології організації логістичних систем автоматизованого управління безпечними перевезеннями міським пасажирським транспортом є важливим і актуальним науковим завданням.

*Метою дисертаційної роботи є* підвищення ефективності та якості обслуговування пасажирів міського транспорту шляхом використання інформаційної технології організації логістичних систем автоматизованого управління пасажирськими перевезеннями, що забезпечує визначення найбільш раціональних маршрутів та графіків руху з одночасним дотриманням безпеки усіх його учасників.

*У вступі* розкрито сутність наукового завдання, обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету та завдання наукового дослідження, наведені дані щодо наукової новизни, обґрунтована достовірність та показана практична цінність отриманих наукових результатів, наведені дані про публікації та апробацію роботи.

*У першому розділі* виконано огляд літературних джерел та джерел Інтернет щодо сучасного стану завдання організації пасажирських перевезень в межах міст України, оцінки якості та ефективності таких перевезень пасажирським транспортом; наведені сучасні інформаційні технології та системи для автоматизованого управління рухом міського пасажирського

транспорту; проведено огляд логістичних систем автоматизованого управління пасажирськими перевезеннями. Проаналізована концепція державної програми підвищення безпеки пасажирських перевезень. В результаті проведеного аналізу сформульовано мету і задачі дисертаційної роботи, проведена постановка наукового завдання.

*В другому розділі* проводиться вибір методу прогнозування пасажиропотоку та подальше розроблення моделі гнучкого пошуку маршрутів транспортних перевезень. В результаті визначення ступеня привабливості основних маршрутів міського пасажирського транспорту (на прикладі м.Черкаси) встановлені основні показники якості пасажироперевезень. Застосований метод довгої короткострокової пам'яті для створення рекурентної нейронної мережі прогнозування пасажиропотоку та обрання раціональних маршрутів міського пасажирського транспорту.

Розроблена нова нечітка динамічна модель вибору варіанта маршруту з урахуванням його привабливості, а також вимог безпеки та економічних інтересів усіх учасників руху. Наведені результати реалізації такої моделі у програмному середовищі MatLab та її апробування, за якими побудована діаграма раціонального розподілу пасажиропотоків за маршрутами.

Встановлено, що застосування теорії транспортної логістики в пасажирських перевезеннях дає можливість усунути протиріччя між пасажирами, транспортними підприємствами та суспільством. На основі аналізу логістичних підходів в управлінні міським пасажирським транспортом, проведено удосконалення логістичної транспортної системи, яка, на відміну від існуючих, характеризує розгалужені багатопотокові міські транспортні процеси і системи та побудовані на базі сучасних інформаційно-комп'ютерних технологій.

*У третьому розділі* розглянуто особливості побудови інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень та виконана експериментальна верифікація наведених результатів. Запропоновано нову інформаційну систему підтримки прийняття рішень для автоматизації пасажирських

перевезень та безпеки руху для чого розроблена функціональна схема модульної взаємодії в цій системі та встановлена послідовність обробки даних, включаючи втрачені данні (помилки, викиди та пропущені значення).

Для автоматизації пасажирських перевезень розроблюється інтелектуальна система підтримки прийняття рішень, основним призначенням якої є прогнозування та своєчасна автоматична стабілізація надзвичайних (аварійних, стресових) ситуацій при перевезенні пасажирів. Також проводиться верифікація методів відновлення даних такої системи.

Для експериментального підтвердження працездатності та коректності роботи розроблюваної системи підтримки прийняття рішень визначаються етапи його проведення та наповнюється масив даних, частина якого отримується моделюванням шляхом урахування припущень експертів щодо розподілу значень цих даних, а інша частина – зі статистичних даних, отриманих від перевізників.

*Четвертий розділ* дисертаційного дослідження присвячений питанням практичного застосування системи автоматичного управління, що дозволяє підвищити ефективність управлінської діяльності.

Показано, що реалізація необхідних інформаційно-технічних характеристик у комплексі з автоматизацією етапів життєвого циклу шляхом широкого використання інформаційної технології дозволяють виробити і обґрунтувати конструктивний підхід до удосконалення процесів експлуатації, організації контролю та прогнозування пасажироперевезення.

Експериментально встановлено, що оптимальними засобами для автоматизації процесів пасажироперевезення є технології телекомунікаційних та інформаційних систем і полягають у створенні автоматичного робочого місця диспетчера транспортного підприємства.

Апробацію системи автоматичного управління безпечним рухом міського пасажирського транспорту здійснено шляхом застосування інформаційних технологій підтримки прийняття рішень під час перевезення пасажирів в транспорті м.Черкаси. Використання такої технології для систем

автоматичного управління і безпеки руху міським пасажирським транспортом в роботі диспетчерської служби зменшує час прийняття рішень та підвищує ефективність їх роботи. Запропонована інформаційна технологія пришвидшує збирання даних системою автоматичного управління, оскільки передбачається встановлення засобів інформатизації та телекомунікації на транспортних засобах та дозволяє швидше обробляти дані, чим підвищується достовірність оцінювання привабливості обраного маршруту.

На основі узагальнення результатів досліджень, в розділі також наводяться практичні рекомендації щодо використання розробленої інформаційної технології організації логістичних систем автоматизованого управління пасажирським транспортом в межах міст України, наукових організаціях та в навчальному процесі закладів вищої освіти України.

*Наукова новизна дисертаційного дослідження* полягає у наступному:

1. Вперше розроблено модель пасажирських перевезень громадським транспортом в межах міста, в основі якої покладено нейронну мережу, що базується на методі довгої короткострокової пам'яті (LSTM) і, на відміну від існуючих, використовує алгоритм Мандамі та центроїдний метод дефазифікації, що дозволяє здійснювати гнучкий пошук маршрутів з використанням телекомунікаційно-навігаційних комп'ютерних технологій, а також враховувати вимоги безпеки та економічні інтереси усіх учасників руху.

2. Удосконалено метод проектування логістичної системи управління міським пасажирським транспортом, який ґрунтується на теорії транспортної логістики в пасажирських перевезеннях і на відміну від існуючих, дозволяє охарактеризувати розгалужені багатопотокові транспортні процеси і системи в межах міст, веде до зниження витрат і вартості послуг перевізника та побудований на базі сучасних інформаційно-комп'ютерних технологій.

3. Удосконалено інформаційну систему підтримки прийняття рішень для автоматизації пасажирських перевезень та безпеки руху, в основі якої лежать логістичні системи управління пасажирським транспортом, що дозволило

підвищити якість обслуговування пасажирів.

4. Запропоновано метод отримання спеціалізованих баз знань, що ґрунтується на інформаційній технології, в основі якої покладено елементи штучного інтелекту на базі нечітких нейронних мереж для забезпечення роботи інформаційної системи підтримки прийняття рішень, що дозволяє автоматизувати процес раціонального управління пасажирськими транспортними засобами.

*Практичне значення одержаних результатів.* Теоретичні положення та висновки доведено до рівня практичних рекомендацій. Практична цінність отриманих результатів полягає в наступному:

– запропоновано динамічну модель пасажирських перевезень громадським транспортом та розроблені алгоритми її реалізації;

– розроблено алгоритми для гнучкого пошуку за допомогою телекомунікаційно-навігаційних комп'ютерних технологій найбільш раціональних маршрутів транспортних міських пасажироперевезень;

– отримано спеціалізовані бази знань для забезпечення роботи інформаційної системи підтримки управлінських рішень при автоматизації засобів міського пасажирського транспорту.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень, моделі та алгоритми гнучкого пошуку маршрутів міських пасажирських перевезень, а також розроблене технічне і програмне забезпечення, знайшли практичне використання та впровадження (підтверджено довідкою) на ДП «Чарз-Авто» м. Черкаси.

Основні результати дисертації використовуються в навчальному процесі кафедри комп'ютерних наук та системного аналізу Черкаського державного технологічного університету з курсів дисциплін «Системи аналітичної обробки даних» та «Інтелектуальний аналіз даних» (підтверджено актом впровадження).

*Ключові слова:* інформаційні технології, міський пасажирський транспорт, пасажирські перевезення, автоматизоване управління, логістична система, безпека руху.

## SUMMARY

*Boyko V.V.* Information technology for the organization of logistics systems for automated control and traffic safety of urban passenger transport. - Qualifying scientific work on the rights of manuscripts.

The dissertation for the degree of candidate of technical sciences on specialty 05.13.06 "Information Technologies". Cherkasy State Technological University of the Ministry of Education and Science of Ukraine; Cherkasy State Technological University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Cherkasy, 2021.

Recently, both in the world and in Ukraine, there has been an active relocation of the population from rural areas to cities and megacities. This is due to better economic and social working and living conditions in cities. Such relocation, in turn, leads to the need for flexible development and adaptation of all urban infrastructure to the needs of the population. This development depends both on the structure and zoning of individual districts of cities, and on the distribution of its labor resources, which depends on the main purpose of the city.

Usually in administrative cities and business centers - the main concentration of jobs is in the central part of the city, in industrial cities - in peripheral areas, and in tourist cities - can be distributed in both central and peripheral parts of the city - depending on from tourist attractions, while the sleeping areas are usually located in the buffer part of the city - between the center and industrial zones.

At the same time, the movement of the population within the city mainly occurs with the use of motor vehicles: urban passenger or private. At the same time, the majority of the population prefers urban passenger transport. The main advantages of passenger transport are high economic attractiveness, social accessibility, convenience and safety. This is confirmed by a number of scientific



publications of domestic and foreign scientists (Dauenguer N.A., Ignatenko O.S., Kuhtenko O.I., Novikov A.M., Solovyov Yu.A. and others).

However, in addition to the advantages of passenger vehicles, it should be noted their disadvantages, including: lack of proper organization of logistics transport schemes, insufficient automation of management and safety of passenger traffic. The main technical reasons for these shortcomings are the lack of telecommunications and information and computer support for passenger vehicles, as well as dispatching facilities.

Therefore, the development of information technology for the organization of logistics systems for automated management of safe transportation of urban passenger transport is an important and relevant scientific task.

*The purpose of the dissertation is* improving the efficiency and quality of public transport passengers through the use of information technology for the organization of logistics systems for automated management of passenger traffic, which ensures the definition of the most rational routes and schedules while maintaining the safety of all its participants.

*The introduction* the essence of the scientific task is revealed, the relevance of the dissertation is substantiated, the purpose and tasks of scientific research are formulated, data on scientific novelty are given, reliability is proved and the practical value of the obtained scientific results is shown, data on publications and approbation of work are given.

*The first section* the essence of the scientific task is revealed, the relevance of the dissertation is substantiated, the purpose and tasks of scientific research are formulated, data on scientific novelty are given, reliability is proved and the practical value of the obtained scientific results is shown, data on publications and approbation of work are given.

*In the second section* the choice of the method of passenger flow forecasting is made and the further development of the model of flexible search of transport routes is carried out. As a result of determining the degree of attractiveness of the main routes of urban passenger transport (on the example of Cherkasy) the main

indicators of the quality of passenger traffic are established. The method of long short-term memory is applied for creation of a recurrent neural network of forecasting of a passenger flow and a choice of rational routes of city passenger transport.

A new fuzzy dynamic model of route option selection has been developed, taking into account its attractiveness, as well as safety requirements and economic interests of all road users. The results of the implementation of such a model in the MatLab software environment and its testing are presented, according to which the diagram of rational distribution of passenger flows by routes is built.

It is established that the application of the theory of transport logistics in passenger traffic makes it possible to eliminate contradictions between passengers, transport companies and society. Based on the analysis of logistics approaches in the management of urban passenger transport, the improvement of the logistics transport system, which, in contrast to the existing ones, characterizes the branched multithreaded urban transport processes and systems and is built on the basis of modern information and computer technologies.

*The third section* the peculiarities of building an intelligent decision support system are considered and the experimental verification of the given results is performed. A new decision support information system for passenger traffic automation and traffic safety has been proposed, for which a functional scheme of modular interaction in this system has been developed and a sequence of data processing, including lost data (errors, emissions and missed values) has been established.

To automate passenger transportation, an intelligent decision support system is being developed, the main purpose of which is forecasting and timely automatic stabilization of emergencies (emergency, stress) situations during passenger transportation. Verification of data recovery methods of such a system is also performed.

To experimentally confirm the efficiency and correctness of the developed decision support system, the stages of its implementation are determined and the

data set is filled, part of which is obtained by modeling by taking into account the assumptions of experts on the distribution of values of these data, and the other part - from statistics obtained from carriers.

*The fourth section* dissertation research is devoted to the practical application of the automatic control system, which allows to increase the efficiency of management.

It is shown that the implementation of the necessary information and technical characteristics in combination with the automation of life cycle stages through the widespread use of information technology allows to develop and justify a constructive approach to improving the processes of operation, control and forecasting of passenger traffic.

It is experimentally established that the optimal means for automation of passenger transportation processes are technologies of telecommunication and information systems and consist in creation of an automatic workplace of the dispatcher of the transport enterprise.

Approbation of the system of automatic control of safe movement of city passenger transport is carried out by application of information technologies of decision support during transportation of passengers in transport of Cherkasy. The use of such technology for automatic control and traffic safety systems in urban passenger transport in the work of the dispatch service reduces the time of decision-making and increases the efficiency of their work. The proposed information technology speeds up the collection of data by the automatic control system, as it provides for the installation of information and telecommunications on vehicles and allows faster data processing, which increases the reliability of assessing the attractiveness of the selected route.

Based on the generalization of research results, the section also provides practical recommendations for the use of information technology for the organization of logistics systems for automated passenger transport management within the cities of Ukraine, research organizations and in the educational process of higher education in Ukraine.

*The scientific novelty of the dissertation research* is as follows:

1. For the first time, a model of passenger transport by public transport within the city was developed, which is based on a neural network based on the method of long-term memory (LSTM) and, unlike existing ones, uses the Mandami algorithm and the centroid method of dephasing, which allows flexible search routes with the use of telecommunication and navigation computer technologies, as well as take into account the safety requirements and economic interests of all road users.

2. Improved method of designing a logistics management system for urban passenger transport, which is based on the theory of transport logistics in passenger transport and in contrast to existing, allows to characterize the branched multithreaded transport processes and systems within cities, leads to lower costs and costs information and computer technologies.

3. The information system of decision support for automation of passenger transportation and traffic safety, which is based on logistics systems of passenger transport management, has been improved, which has allowed to improve the quality of passenger service.

4. A method of obtaining specialized knowledge bases based on information technology, based on elements of artificial intelligence based on fuzzy neural networks to ensure the operation of the information system to support decision-making, which allows to automate the process of rational management of passenger vehicles.

*The practical significance of the results obtained.* Theoretical provisions and conclusions are brought to the level of practical recommendations. The practical value of the results is as follows:

- the dynamic model of passenger transportations by public transport is offered and algorithms of its realization are developed;
- developed algorithms for flexible search with the help of telecommunication and navigation computer technologies of the most rational routes of urban urban passenger transport;

– specialized knowledge bases were obtained to ensure the operation of the information system to support management decisions in the automation of urban passenger transport.

The results of theoretical and experimental research, models and algorithms for flexible search of urban passenger transport routes, as well as developed hardware and software, have found practical use and implementation (confirmed by the certificate) at "Charz-Auto" in Cherkasy.

The main results of the dissertation are used in the educational process of the Department of Computer Science and Systems Analysis of Cherkasy State Technological University in the courses "Analytical Data Processing Systems" and "Data Mining" (confirmed by the act of implementation).

*Keywords:* information technologies, urban passenger transport, passenger transportation, automated control, logistics system, traffic safety.

### Список публікацій здобувача

#### Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

##### Наукові фахові видання України

1. А. А. Tymchenko, М. V. Pidgornyj, G. O. Zaspа, V. V. Voiko, "Car power supply system unloading control tasks solution", Вісн. Черкас. держ. технол. ун-ту. (спецвипуск), 33 – 35 (2009). *Здобувачем проведені дослідження систем управління автомобілями.*

2. В. В. Бойко, "Інформаційна технологія активної безпеки автомобіля", Вісн. Черкас. держ. технол. ун-ту. (4), 8 – 13 (2010). *Здобувачем проведені дослідження інформаційних технологій, що знайшли застосування в системах активної безпеки автомобілів.*

3. В. В. Бойко, "Структурний синтез системи автоматичного управління безпечним рухом автомобіля", Вісн. Черкас. держ. технол. ун-ту. (1), 105 – 109 (2011). *Здобувачем проведено теоретичні дослідження синтезу системи автоматичного управління безпечним рухом автомобіля.*

4. В. В. Бойко, "Система інформаційних технологій управління активною безпекою автомобіля", Вісн. Черкас. держ. технол. ун-ту. (2), 9 – 14 (2012). *Здобувачем розроблена інформаційна технологія системних досліджень процесів безпечного руху транспортних засобів.*

5. А. А. Тимченко, В. В. Бойко, та В. В. Скоробрещук, "Аналітичний огляд задач та методів побудови моделей складних систем", Зб. наук. праць "Індуктивне моделювання складних систем". Київ: Міжнар. Наук.-навч. Центр інформ. Технологій та систем НАН та МОН України (2), 247 – 256 (2010). *Здобувачем встановлені основні задачі та методи побудови моделей складних систем на прикладі автотранспортної системи.*

6. А. А. Тимченко, В. В. Бойко, В. В. Скоробрещук, та А. М. Гаврилей, "Статистичний підхід до розв'язання детермінованих задач ідентифікації", Зб. наук. праць "Індуктивне моделювання складних систем". Київ: Міжнар. Наук.-навч. Центр інформ. Технологій та систем НАН та МОН України (3), 224 – 235 (2011). *Здобувачем проведене розв'язання детермінованих задач ідентифікації використовуючи статистичний підхід.*

Фахові видання України включені до міжнародних наукометричних баз

7. V. V. Boyko, "Improvement of logistics system of municipal transport management", Вісн. Черкас. держ. технол. ун-ту. (1), 19 – 26 (2020). DOI: 10.24025/2306-4412.1.2020.193005.

Наукові фахові видання іноземних держав

8. A. Tymchenko and V. Boyko, "Features of solving identification problems in transport technologies", Intern. Scient. J. "INDUSTRY 4.0", V (5), Iss.2, 63 – 67 (2020). URL: <https://stumejournals.com/journals/i4/2020/2/63.full.pdf>. *Здобувачем проведено аналіз отриманих моделей та знайдена модель оптимальної складності.*

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

9. А. А. Тимченко, В. В. Бойко, та В. В. Скоробрещук, "Порівняльний аналіз методів розв'язання задач ідентифікації", Зб. наук. праць "Індуктивне моделювання складних систем". Київ: Міжнар. Наук.-навч. Центр інформ.

Технологій та систем НАН та МОН України (1), 219 – 228 (2009). *Здобувачем проведено дослідження основних задач ідентифікації та методів їх розв'язання.*

10. М. В. Підгорний, та В. В. Бойко, "Автоматизована система керування оперативним пожежогасінням", в: Математика сучасних інформаційних технологій: тези доп. IV Міжнар. наук.-практ. конф. (Прага, 2008), С. 40 – 42. *Здобувачем складена універсальна функціональна схема автоматизації систем керування на прикладі системи для проведення оперативного пожежогасіння.*

11. О. В. Тьорло, А. В. Бурлай та В. В. Бойко, "Автотранспортне підприємство, як об'єкт системного проектування", в: Современные направления теоретических и прикладных исследований '2009: матер. Междунар. науч.-практ. конфер. Том 1. Транспорт. (Черноморье, Одесса, 16 – 27 марта 2009), С. 116 – 118. *Здобувачем проведено огляд існуючих автотранспортних підприємств та розроблено підхід щодо їх системного проектування.*

12. А. А. Тимченко, М. В. Підгорний, та В. В. Бойко, "Системний підхід до проектування систем активної безпеки автомобіля", в: Системний аналіз та інформаційні технології: Матеріали XI Міжнар. наук.-техн. конфер. (ННК «ІПСА» НТУУ «КПІ», Київ, 26 – 30 травня 2009), С. 216. *Здобувачем розроблена загальна концепція проектування систем активної безпеки в автомобільному транспорті для пасажирських перевезень.*

13. А. А. Тимченко, М. В. Підгорний, та В. В. Бойко, "Системний аналіз задач синтезу структури системи метрологічного забезпечення автомобільного транспорту", в: Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании '2009: Матер. Междунар. науч.-практ. конф. Том 1. Транспорт, Туризм (Черноморье, Одесса, 21 – 28 декабря 2009), С. 76 – 78. *Здобувачем проаналізована задача синтезу структури засобів метрологічного забезпечення пасажирського автомобільного транспорту.*

14. А. А. Тимченко, Н. В. Подгорный, и В. В. Бойко, "Формализованная постановка задач создания автоматизированных систем управления энергосистемы автомобиля", в: Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій «РТ-2010»: Матер. шостої Міжнар. наук.-техн. конфер. (СевНТУ, Севастополь, 19 – 24 квітня 2010), 519 с. *Здобувачем проведено аналіз автоматизованих систем управління енергетичними системами автомобілів цивільного транспорту.*

15. А. А. Тимченко, О. В. Тьорло, и В. В. Бойко, "Координованість по формуванню управлінських рішень у дворівневій системі організації управління автотранспортного підприємства", в: Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті: Матер. другої Міжнар. наук.-техн. конфер. (Херсон, 25 – 27 травня 2010). – С. 99 – 102. *Здобувачем розглянуто та сформовано основні управлінські рішення у дворівневій системі організації управління автотранспортного підприємства для пасажироперевезень.*

16. А. А. Тимченко, М. В. Підгорний, та В. В. Бойко, "Математичне моделювання динамічних процесів безпечного руху автомобіля", в: Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС '2010: Матер. п'ятої наук.-практ. конфер. з міжнар. участю (Київ, 21 – 25 червня 2010), С. 156 – 157. *Здобувачем проведено математичне моделювання динамічних процесів при безпечному русі автотранспорту.*

17. О. В. Тьорло та В. В. Бойко, "АСУ автотранспортного підприємства. Прогресивні інформаційні технології розробки та впровадження", в: Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте '2010: Матер. Междунар. науч.-практ. конф. Том 4. Технические науки. (Черноморье, Одесса, 21 – 30 июня 2010), С. 34 – 36. *Здобувачем прийнято участь у розробці інформаційної технології автоматизованої системи управління пасажирським автотранспортним підприємством для пасажироперевезень.*



18. А. А. Тимченко, М. В. Підгорний, О. В. Тьорло та В. В. Бойко, "Оптимізація процесів функціонування АТП в умовах комплексної автоматизації", в: Автоматика – 2010: Матер. XVII міжнар. конфер. з автомат. управ. (ХНУРЕ, Харків, 27 – 29 вересня 2010), С. 289 – 291. *Здобувачем розроблений порядок визначення критеріїв оптимуму та проведена оптимізація процесів функціонування транспортного підприємства.*

19. А. А. Тимченко та В. В. Бойко, "Системний аналіз етапів життєвих циклів галузі автомобілебудування (аналітичний огляд)" в: Контроль і управління в складних системах (КУСС-2010): Матер. X Міжнар. наук.-практ. конфер. (ВНТУ, Вінниця, 19 – 21 жовтня 2010), С. 238. *Здобувачем розроблено підхід до системного аналізу різних етапів життєвих циклів експлуатації автомобільного транспорту.*

20. В. В. Бойко, М. В. Підгорний та А. А. Тимченко, "Комп'ютерна інженерія та проблеми активної безпеки автомобіля", в: Комп'ютерні науки та інженерія. CSE-2010: Матер. четвертої Міжнар. конф. молод. вчених (Вид-во Львівської політехніки, Львів, 25 – 27 листопада 2010), С. 192 – 193. *Здобувачем розглянуті основні проблеми активної безпеки автомобільного транспорту.*

21. В. В. Бойко, "Інтелектуальна автомобільна система, як системна інтеграція сучасних інформаційних технологій і засобів автоматизації", в: Обчислюваний інтелект – 2011 (результати, проблеми, перспективи): Матер. першої Міжнар. наук.-техн. конфер. (Черкаси, 10 – 13 травня 2011), С. 284. *Здобувачем розглянуті основні типи та різновиди інтелектуальної автомобільної системи.*

22. А. А. Тимченко та В. В. Бойко, "Системний аналіз та математичне моделювання складних систем автономного функціонування", в: Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2011): Матер. третьої Міжнар. наук.-практ. конфер. (ХДМІ, Херсон, 23 – 25 травня 2011), С. 82 – 84. *Здобувачем проведене математичне моделювання складних систем автономного функціонування на базі пункту диспетчеризації АТП.*

23. А. А. Тимченко та В. В. Бойко, "Інформаційна технологія системного проектування складних систем", в: Інтегровані інтелектуальні робото технічні комплекси (ІРТК-2011): Матер. четвертої Міжнар. наук.-практ. конфер. (НАУ, Київ, 23 – 25 травня 2011), С. 284 – 286. *Здобувачем проведене системне проектування складних систем на прикладі комунального господарства для перевезення пасажирів.*

24. А. А. Тимченко та В. В. Бойко, "Системний аналіз інформаційної технології автоматизації системи контролю керування для безпечного руху автомобіля", в: Автоматика – 2011: Матер. XVIII міжнар. конфер. з автомат. управ. (НУ "Львівська політехніка", Львів, 28 – 30 вересня 2011), С. 202 – 203. *Здобувачем визначено час надійної експлуатації зондів АСМ та проведене корегування точності вимірювання наноструктур на функціональних матеріалах.*

25. А. А. Тимченко та В. В. Бойко, "Системні принципи управління безпечним рухом автотранспортних засобів", в: Інформаційні технології в освіті, науці і техніці (ІТОНТ-2012): Міжнар. наук.-практ. конфер. (ЧДТУ, 25 – 27 квітня 2012), С. 82 – 83. *Здобувачем виведені основні системні принципи управління безпечним рухом автотранспорту.*

## ЗМІСТ

	стор.
<b>СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ .....</b>	<b>22</b>
<b>ВСТУП .....</b>	<b>23</b>
<b>РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ОРГАНІЗАЦІЇ ПАСАЖИР- СЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В МЕЖАХ МІСТ УКРАЇНИ .....</b>	<b>29</b>
1.1. Оцінка якості та ефективності пасажирських перевезень міським транспортом .....	30
1.2. Сучасні інформаційні технології та системи для автоматизованого управління рухом транспорту .....	35
1.3. Огляд логістичних систем автоматизованого управління пасажирськими перевезеннями .....	44
1.4. Аналіз державної програми підвищення безпеки пасажирських перевезень .....	50
1.5. Постановка наукового завдання .....	54
1.6. Висновки до розділу 1 .....	56
<b>РОЗДІЛ 2. ВИБІР МЕТОДУ ПРОГНОЗУВАННЯ ПАСАЖИРОПОТОКУ ТА РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ ГНУЧКОГО ПОШУКУ МАРШРУТУ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ .....</b>	<b>57</b>
2.1. Визначення показників якості пасажироперевезень міським транспортом .....	58
2.2. Оцінювання та вибір методу прогнозування пасажиропотоку міським транспортом .....	68
2.3. Розроблення динамічної моделі вибору маршруту пасажироперевезень міським транспортом .....	79
2.4. Удосконалення логістичної системи управління міським пасажирським транспортом .....	91
2.5. Висновки до розділу 2 .....	103

### **РОЗДІЛ 3. СТВОРЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ**

#### **ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ**

#### **АВТОМАТИЗАЦІЇ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ...** 104

- 3.1. Вибір методу групового прийняття рішення для математичного опису предметної області ..... 105
- 3.2. Розроблення функціональної структури модульної взаємодії в системі підтримки прийняття рішень для автоматизації управління пасажироперевезеннями ..... 108
- 3.3. Формування баз знань при структурованому представленні інформації ..... 111
- 3.4. Функціонально-орієнтоване проектування інформаційної системи ..... 125
- 3.5. Об'єктно-орієнтоване проектування інформаційної системи ..... 129
- 3.6. Комп'ютерне моделювання системи підтримки прийняття рішень ..... 136
- 3.7. Оновлення початкової бази нечітких правил ..... 139
- 3.8. Аналіз експериментальних результатів щодо верифікації методів відновлення даних для системи підтримки прийняття рішень ..... 140
- 3.9. Висновки до розділу 3 ..... 142

### **РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ РЕАЛІЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ**

#### **АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕЧНИМ**

#### **РУХОМ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

#### **МІСЬКИМ ТРАНСПОРТОМ** ..... 144

- 4.1. Результати дослідження системи автоматичного управління міськими пасажироперевезеннями ..... 145
- 4.2. Приклад застосування розробленої логістичної системи автоматичного управління ..... 148
- 4.3. Апробація інформаційної технології в системах автоматичного управління безпечним рухом пасажирських перевезень ..... 152

4.4. Визначення ефективності реалізації інформаційної технології .....	156
4.5. Практичні рекомендації щодо використання розробленої інформаційної технології в комунальному господарстві міст та в навчальному процесі закладів вищої освіти України .....	159
4.6. Висновки до розділу 4 .....	161
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	162
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	165
<b>ДОДАТКИ</b> .....	181
ДОДАТОК А. Основні базові підходи для розуміння цілей і завдань логістичної інформаційної системи.....	181
ДОДАТОК Б. Графіки порівняння прогнозованих значень (метод LSTM) з експериментальними даними за 2019 рік за пасажирськими маршрутами м.Черкаси .....	183
ДОДАТОК В. Основні елементи моделі «ІС ППР» .....	187
ДОДАТОК Г. Лістинг програмного модулю для комп'ютерного моделювання системи управління процесом перевезення пасажирів з використанням нейромережі LSM .....	190
ДОДАТОК Д. Тестувальна вибірка для створення нової бази нечітких правил .....	194
ДОДАТОК Е. Технологія реалізація моделі для забезпечення ефективності САУ перевезеннями пасажирів .....	195
ДОДАТОК Є. Лістинг сторінки пасажирської транспортної мережі м.Черкаси на сайті EasyWay, адаптований під АРМ диспетчера громадського АТП.....	198
ДОДАТОК Ж. Документація про наукову значимість, практичне використання та впровадження основних результатів роботи .....	205
ДОДАТОК З. Список публікацій здобувача за темою дисертації .....	208
ДОДАТОК І. Відомості про апробацію результатів дисертації ..	212

## СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- АНС – автомобільна навігаційна система;
- АРМ – автоматизоване робоче місце;
- АСУ – автоматизована система управління;
- АТП – автотранспортне підприємство;
- БД – база даних;
- МПТ – міський пасажирський транспорт;
- ДТП – дорожньо-транспортна пригода;
- ЖЦ – життєвий цикл;
- ІАЛС – інтегрована автоматизована логістична система;
- ІЛЦ – інформаційний логістичний центр;
- ІСУ – інформаційна система управління;
- ЛІС – логістична інформаційна система;
- НС – надзвичайна ситуація;
- ОПР – особа, що приймає рішення;
- САУППМТ – система автоматичного управління пасажироперевезеннями міським транспортом;
- СППР – система підтримки прийняття рішення;
- $A$  – показник рентабельності пасажироперевезень;
- ARIMA – метод Бокса-Дженкінса (autoregressive integrated moving average);
- $B$  – вартість проїзду, грн;
- $I$  – середній інтервал руху транспортного засобу по маршруту, хв;
- $E_k$  – цільова функція;
- $K_n$  – показник розподілу;
- LSTM – (long short-term memory);
- $M$  – кількість експертів / критерій, що вказує на необхідність зміни маршруту;
- $N$  – середня наповненість салону, % / кількість груп альтернатив;
- $P$  – коефіцієнт привабливості маршруту, бали;
- $PI$  – індекс рентабельності маршруту (profitability index);
- RNN – метод рекурентної нейронної мережі (recurrent neural network);
- $T$  – час доставки пасажирів, хв;
- TSK – алгоритм навчання мережі (Takagi-Sugeno-Kanga);
- $V$  – зміна прибутку, %
- $Y_i$  – показник ефективності маршруту;
- $\mu(*)$  – функція належності.

## ВСТУП

*Обґрунтування вибору теми дослідження.* На сучасному етапі розвитку світового суспільства відбувається зростання рівня його урбанізації – мегаполіси, що постійно збільшуються і поглинають усе нові території вимагають залучення нових трудових людських ресурсів з оточуючих територій, що економічно занепадають. Це саме питання стосується й України. Так, згідно щорічного звіту Департаменту Організації Об'єднаних Націй з економічних та соціальних питань, рівень урбанізації в Україні станом на 2019 рік становив 69,2%.

В той же час, більшість населення України переміщаючись по містах використовують міський пасажирський транспорт (73,2%), тоді, як лише 24,1% надають перевагу власному автотранспорту. При цьому кількість користувачів пасажирського транспорту поступово зростає. Більшістю пасажирів громадського транспорту перевага надається саме міському пасажирському транспорту, який, на відміну від комерційного, є більш економічно вигідним, доступним для будь-яких соціальних груп населення, зручним та відносно безпечним.

Питаннями забезпечення ефективності руху та якості обслуговування пасажирів громадським транспортом займалися багато закордонних та вітчизняних наукових шкіл, а також окремих вчених, серед яких: Аксьонов З.І., Дауенгауер Н.А., Ігнатенко О.С., Кухтенко О.І., Лубенцов В.С., Маруніч В.С., Новіков А.М., Соловійов Ю.А., Шипович В.Є., Черкасов О.Н. та інші.

Проте, не дивлячись на наукові здобутки цих вчених, а також явні переваги міського пасажирського транспорту, основним його недоліком залишається відсутність належної організації логістики, як окремих маршрутів, так і всієї транспортної системи міста. Крім того, слабкі автоматизація управління та забезпечення безпеки пасажироперевезень, що пов'язано з недостатнім телекомунікаційно-навігаційним та інформаційно-

комп'ютерним забезпеченням транспортних засобів, а також об'єктів диспетчеризації гальмує подальший розвиток системи пасажирських перевезень та обмежує економічні інтереси і можливості запровадження сучасних методів і засобів безпеки усіх учасників руху.

З огляду на це, розроблення інформаційної технології організації логістичних систем автоматизованого управління безпечними перевезеннями міським пасажирським транспортом є актуальним завданням, що має важливе наукове та прикладне значення.

*Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.* Роботу виконано в Черкаському державному технологічному університеті в межах державної науково-дослідної теми: “Наукові основа та методи еволюційної оптимізації процесів створення, функціонування та модернізації віртуальних підприємств” (№ ДР 0109U002749, 2009 – 2011 р.р., молодший науковий співробітник). В даній роботі автором запропоновано удосконалений метод прогнозування розвитку віртуальних підприємств в залежності від попиту на їх продукцію та соціально-економічного стану держави, і який був реалізований у програмному середовищі «С++».

*Мета і задачі дослідження.* Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності та якості обслуговування пасажирів міського транспорту шляхом використання інформаційної технології організації логістичних систем автоматизованого управління пасажирськими перевезеннями, що забезпечує визначення найбільш раціональних маршрутів та графіків руху з одночасним дотриманням безпеки усіх його учасників.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються такі основні задачі:

- розробити моделі міських пасажирських перевезень з використанням телекомунікаційно-навігаційних комп'ютерних технологій та урахуванням вимог безпеки і економічних інтересів усіх учасників руху;

- запропонувати метод проектування логістичної системи управління міським пасажирським транспортом в межах міст;



– дослідити ефективність удосконаленої інформаційної системи підтримки прийняття рішень для автоматизації управління та безпеки руху міським пасажирським транспортом;

– запропонувати метод отримання спеціалізованих баз знань, що ґрунтується на інформаційних технологіях, в основу яких покладено елементи штучного інтелекту, що забезпечує роботу інформаційної системи підтримки прийняття рішень для автоматизації управління міським пасажирським транспортом.

*Об'єкт дослідження* – організаційно-логістичне та інформаційне забезпечення систем управління міськими пасажироперевезеннями.

*Предмет дослідження* – методи, моделі, алгоритми та інформаційна технологія підтримки рішень для автоматизації управління та безпеки руху міським пасажирським транспортом.

*Методи досліджень.* Для вирішення поставлених задач використовувалися: елементи теорії транспортних перевезень, методи системного аналізу (визначення параметрів логістичної системи управління), методи математичного моделювання (перевірка працездатності створеної моделі), методи теорії інформаційних систем (вибір архітектури та програмних засобів інформаційних систем), методи штучного інтелекту і теорії штучних нейронних мереж (створення бази знань і оброблення експериментальних даних), а також методи математичної статистики (збирання, оброблення та інтерпретації експериментальних даних).

*Наукова новизна одержаних результатів* полягає у наступному:

1. Вперше розроблено модель пасажирських перевезень громадським транспортом в межах міста, в основі якої покладено нейронну мережу, що базується на методі довгої короткострокової пам'яті (LSTM) і, на відміну від існуючих, використовує алгоритм Мандамі та центроїдний метод дефазифікації, що дозволяє здійснювати гнучкий пошук маршрутів з використанням телекомунікаційно-навігаційних комп'ютерних технологій, а також враховувати вимоги безпеки та економічні інтереси усіх учасників

руху.

2. Удосконалено метод проектування логістичної системи управління міським пасажирським транспортом, який ґрунтується на теорії транспортної логістики в пасажирських перевезеннях і на відміну від існуючих, дозволяє охарактеризувати розгалужені багатопотокові транспортні процеси і системи в межах міст, веде до зниження витрат і вартості послуг перевізника та побудований на базі сучасних інформаційно-комп'ютерних технологій.

3. Удосконалено інформаційну систему підтримки прийняття рішень для автоматизації пасажирських перевезень та безпеки руху, в основі якої лежать логістичні системи управління пасажирським транспортом, що дозволило підвищити якість обслуговування пасажирів.

4. Запропоновано метод отримання спеціалізованих баз знань, що ґрунтується на інформаційній технології, в основі якої покладено елементи штучного інтелекту на базі нечітких нейронних мереж для забезпечення роботи інформаційної системи підтримки прийняття рішень, що дозволяє автоматизувати процес раціонального управління пасажирськими транспортними засобами.

*Практичне значення одержаних результатів.* Теоретичні положення та висновки доведено до рівня практичних рекомендацій. Практична цінність отриманих результатів полягає в наступному:

- запропоновано динамічну модель пасажирських перевезень громадським транспортом та розроблені алгоритми її реалізації;
- розроблено алгоритми для гнучкого пошуку за допомогою телекомунікаційно-навігаційних комп'ютерних технологій найбільш раціональних маршрутів транспортних міських пасажироперевезень;
- отримано спеціалізовані бази знань для забезпечення роботи інформаційної системи підтримки управлінських рішень при автоматизації засобів міського пасажирського транспорту.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень, моделі та алгоритми гнучкого пошуку маршрутів міських пасажирських перевезень, а

також розроблене технічне і програмне забезпечення, знайшли практичне використання та впровадження (підтверджено довідкою) на ДП «Чарз-Авто» м. Черкаси.

Основні результати дисертації використовуються в навчальному процесі кафедри комп'ютерних наук та системного аналізу Черкаського державного технологічного університету з курсів дисциплін «Системи аналітичної обробки даних» та «Інтелектуальний аналіз даних» (підтверджено актом впровадження).

*Особистий внесок здобувача.* Основні теоретичні, розрахункові та експериментальні результати отримано здобувачем самостійно. Наукові положення, що виносяться на захист, та висновки дисертаційної роботи належать автору.

У роботах, опублікованих у співавторстві:

- наведені результати автоматизованого управління пасажирськими перевезеннями [54, 102];
- проведена постановка та вирішення задач автоматизації процесу управління транспортними засобами [68, 75, 86, 96, 118, 121, 125] та транспортними підприємствами [130, 134];
- обґрунтовано системний підхід до моделювання [77, 117, 120, 142] та проектування систем безпечного руху транспортних засобів [49, 64, 123, 132, 141];
- проведено розв'язання задач ідентифікації складних систем [45, 58];
- наводяться управлінські рішення в організації автотранспортного підприємства [87, 114, 139].

*Апробація результатів дисертаційного дослідження.* Матеріали, основні положення та результати дисертаційної роботи доповідались і опубліковані у збірках доповідей та матеріалів науково-технічних конференцій, а саме: IV МНПК "Математика сучасних інформаційних технологій" (Прага, 2008), МНПК "Современные направления теоретических и прикладных исследований '2009" (Одесса, 2009), XI МНТК "Системный

аналіз та інформаційні технології" (Київ, 2009), МНПК "Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании '2009" (Одесса, 2009), VI МНТК "Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій «РТ-2010» (Севастополь, 2010), II МНТК "Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті" (Херсон, 2010), V МНПК "Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС '2010" (Київ, 2010), МНПК "Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте '2010" (Одесса, 2010), XVII МК "Автоматика – 2010" (Харків, 2010), X МНПК "Контроль і управління в складних системах (КУСС-2010)" (Вінниця, 2010), IV МК "Комп'ютерні науки та інженерія. CSE-2010" (Львів, 2010), I МНТК "Обчислюваний інтелект – 2011 (результати, проблеми, перспективи)" (Черкаси, 2011), III МНПК "Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2011)" (Херсон, 2011), IV МНПК "Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ПРТК-2011)" (Київ, 2011), XVIII МК "Автоматика – 2011" (Львів, 2011), МНПК "Інформаційні технології в освіті, науці і техніці (ІТОНТ-2012)" (Черкаси, 2012), XVII МК "Машини. Технології. Матеріали" (Варна, Болгарія, 2019).

*Публікації.* Результати досліджень, що подані в дисертації, опубліковані у 25 наукових працях, у тому числі 8 статей у наукових фахових виданнях (з них 1 стаття у виданнях іноземних держав, 1 стаття у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз), 17 тезах доповідей в збірниках матеріалів міжнародних наукових конференцій.

*Структура і об'єм дисертації.* Дисертація складається з анотації, змісту, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи становить 214 сторінок, з них обсяг основного тексту – 146 сторінок, 56 рисунків, 21 таблиця, список використаних джерел складає 143 найменування і займає 16 сторінок, а також 10 додатків на 34 сторінках.

## РОЗДІЛ 1.

### АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ОРГАНІЗАЦІЇ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В МЕЖАХ МІСТ УКРАЇНИ

Основними не вирішеними питаннями, що залишаються при використанні міського пасажирського транспорту є: відсутність належної організації логістичних транспортних схем, а також недостатня автоматизація управління та незабезпечення безпеки пасажироперевезень. Вирішення даного питання полягає у розробленні інформаційних технологій організації логістичних систем автоматизованого управління безпечними пасажирськими перевезеннями міським пасажирським транспортом.

Тому, в розділі проведено критичний аналіз вітчизняної та закордонної науково-технічної літератури з досягнень і питань, що залишаються не вирішеними при організації пасажирських перевезень в межах міст України, а також оцінку якості та ефективності таких перевезень міським пасажирським транспортом. Розглянуто 110 вітчизняних та закордонних літературних джерел [1] – [110], частина з яких присвячена питанням оцінки якості та ефективності пасажироперевезень громадським транспортном, а решта – аналізу сучасних технологій, а також інформаційних та логістичних систем автоматизованого управління рухом транспорту.

Проведено аналіз наукових робіт [1] – [19] в яких зазначена необхідність поглиблення існуючих і розроблення нових теоретичних основ, прикладного, математичного та інформаційного забезпечення, а також методичних рекомендацій щодо удосконалення управління якістю послуг громадських автотранспортних підприємств з пасажирських перевезень.

Встановлено, що для розвитку транспортної системи пасажироперевезень мають бути запроваджені заходи: забезпечення надійної та безпечної експлуатації міських пасажирських транспортних засобів; покращення якості процесу перевезень; залучення інвестиційних коштів на оновлення застарілих та придбання нових транспортних засобів; підвищення

рівня комфортності обслуговування пасажирів тощо.

Особлива увага приділена розгляду та аналізу публікацій, в яких висвітлюються питання відсутності в пасажирському господарстві міст України інформаційних систем та технологій для автоматизованого управління міським пасажирським транспортом, а також можливості гнучкого пошуку маршрутів транспортних перевезень з використанням телекомунікаційно-навігаційних комп'ютерних технологій [20] – [32].

На основі критичного аналізу визначене коло задач, які потребують вирішення і пов'язані з необхідністю реалізації гнучкої системи автоматизованого управління пасажирськими перевезеннями громадським транспортом в умовах міста. Для цього пропонується впроваджувати інформаційні транспортно-логістичні технології з використанням спеціалізованих технічних та програмних засобів [33] – [64], а також проводити реалізацію положень та завдань державної програми підвищення безпеки пасажирських перевезень.

### 1.1. Оцінка якості та ефективності пасажирських перевезень міським транспортом

Недостатній рівень якості надання послуг з пасажироперевезення громадським транспортом у більшості міст (особливо у великих містах-мільйонниках) країни на сьогодні, як ніколи, набуває особливої актуальності [1]. Це проявляється, як у збільшенні часу на переміщення, недотриманні, та іноді й ігноруванні водіями транспортних засобів інтервалів руху та розкладу маршрутів, а також погіршенні якості обслуговування пасажирів і культури водіння, чим недотримується належний рівень безпеки та комфортності перевезень. Збитковість ряду маршрутів міського пасажирського транспорту, значна зношеність транспортних засобів, невизначеність та «непрозорість» оплати послуг транспортування ведуть до значного погіршення якості транспортних послуг [2].

Сучасна транспортна система міста – важлива складова інфраструктури та економіки цього міста і держави в цілому, що підтримує життєдіяльність містян та гостей міста. Підвищення ефективності роботи пасажирської транспортної галузі залежить не лише від якісного здійснення пасажирських перевезень, але й від зниження їх вартості. Тому, низька якість послуг з пасажироперевезень та невідповідність їх сучасним вимогам є одним з проблемних питань експлуатування та розвитку міського пасажирського транспорту. Громадянами усе частіше висуваються вимоги швидшого, безпечнішого та комфортнішого перевезення в міському транспорті [3]. Проте, незадовільна якість надання послуг міським пасажирським транспортом приводить до низької конкурентоспроможності та зменшення обсягів пасажирських перевезень [4]. Тому, майбутнє підприємств, що спеціалізуються на міських пасажироперевезеннях залежить від здатності забезпечення населення якісними послугами, орієнтованими на споживача.

З іншого боку, підвищення якості послуг перевезення пасажирів міським транспортом є ефективним способом врегулювання інтересів усіх сторін: перевізників, органів самоврядування міста або його району, що зацікавлені в розвитку міського пасажирського транспорту в місті, та громадян – пасажирів.

Невирішеними досі питаннями усунення проблеми якості обслуговування пасажирів є [5]:

- відсутні економічні важелі впливу на перевізників за порушення високого рівня якості обслуговування пасажирів;
- низька конкуренція між перевізниками, які створювали б умови рівної конкурентної боротьби;
- відсутність моніторингу якості обслуговування пасажирів з боку муніципалітету;
- відсутність статистичних показників, які дозволяють оцінити кількість осіб, що є пасажирами транспортного засобу та тих осіб, що чекають на цей засіб на зупинці.

Для оцінки якості обслуговування пасажирів на маршрутах міської транспортної системи актуальною є інформація про потреби населення в отриманні транспортних послуг в окремих районах міста та організації транспортного перевезення. Далі слід встановити, чи задовольняє кількість транспортних засобів потребам населення.

Порядок цих дій дозволить: раціонально оцінити важливість обслуговування пасажирів міського пасажирського транспорту в ринкових умовах; сформулювати чинники якості обслуговування пасажирів, що усунуть (або, принаймні, зведуть до мінімуму) порушення прав пасажирів при користуванні маршрутом; визначити поняття організації оптимального маршруту, за якої відсутні порушення прав пасажирів.

Це, в свою чергу, дозволить покращити [6]:

- ринкові структури в галузі пасажирських перевезень та створення здорового конкурентного клімату за рахунок забезпечення конкурентоспроможності при розподілі маршрутів та часових графіків між перевізниками.
- умови перевезення та якості обслуговування пасажирів;
- організацію транспортного обслуговування, а також єдиний механізм управління транспортних підприємств.

В багатьох країнах світу наразі проводиться активна робота з розвитку міського пасажирського транспорту за-для підвищення його комфортності та безпеки [7 – 9]. Також зростає частина використання екологічно чистого та безпечного електричного транспорту [10 – 12]. Загалом, вивчення питання ефективності та якості обслуговування пасажирів міським транспортом є однією з головних задач, що потребують пошуку сучасних оперативних методів управління пасажирськими перевезеннями в умовах міста. Це необхідно для утримання положення й розвитку функцій автотранспортних підприємств на ринку перевезень, зниження експлуатаційних витрат та збільшення їх прибутків.

Стан міського пасажирського транспорту в громадському господарстві України, економічна оцінка ефективності роботи пасажирського



транспортного комплексу та його складових визначається за допомогою системи техніко-економічних показників, які можна поділити на три групи [13]:

- експлуатаційно-технічні (безпека руху; маневреність транспортних засобів, ступінь їх надійності та інше);
- вартісні (собівартість перевезень, інвестиції; прибуток та рентабельність тощо);
- натуральні (потреба в паливі, інших витратних матеріалах; продуктивності праці та інше).

При цьому ефективність перевезення визначається на основі порівняння прибутків, які буде отримано, з витратами на реалізацію заходів. Проте, якщо захід не вимагає значних матеріальних і трудових витрат (наприклад, при зміні маршруту транспортного засобу), ефективність оцінюється лише за отриманими результатами. Оцінка ефективності полягає у розрахунках ресурсних та результативних показників, які визначають вплив зміни якості перевезень на зміну їх ефективності. Результати діяльності транспортної системи та автопідприємства-перевізники визначаються особливостями діяльності останнього, і можуть мати, як позитивні, так і негативні наслідки [14].

Ефективність функціонування міської пасажирської транспортної мережі має оцінюватися не тільки через кількісні показники, а й з використанням критеріїв якості пасажироперевезення. Для оцінки якості пасажироперевезень мають бути використані такі статистичні показники, як: кількість перевезених пасажирів, довжина маршруту, кількість одиниць рухомого складу. Таким чином, для оцінки рівня якості транспортного обслуговування з перевезення населення містом необхідним є чітке визначення системи критеріїв якості, основним серед яких є час, затрачений на поїздку [15].

Ще однією проблемою в міських пасажироперевезеннях, що не вирішена до кінця на сьогодні, є необхідність зменшення надзвичайних

ситуацій (НС), що відбуваються за участі автотранспортних засобів громадської форми власності. Попередження виникнення НС під час перевезення пасажирів має включати в себе [16]: моніторинг транспортного засобу; моніторинг за станом осіб, що беруть участь у пасажироперевезеннях (як водія транспортного засобу, так і його пасажирів); прогнозування можливих ситуацій і розвиток подій під час руху завантаженою та/або небезпечною ділянкою руху; ситуаційне попередження водія транспорту про можливість створення та ліквідації НС, а також їх усунення; можливість відновити повну картину події, використовуючи дані спеціальних реєструючих пристроїв; створення безпечного коридору й маршруту проходження до місця призначення; при виникненні НС – координація в автоматичному режимі з аварійними службами й рятувальними підрозділами.

Для швидкого реагування на НС під час пасажироперевезення у світі розробляються глобальні навігаційні супутникові системи та пропонується введення наземних станцій дистанційного моніторингу [17]. Проте, не багато Українських перевізників міського пасажирського транспорту мають можливість бути оснащеними такими системами.

З вищенаведеного можна зробити висновок про необхідність поглиблення існуючих і розроблення нових теоретичних основ, прикладного, математичного та інформаційного забезпечення, а також методичних рекомендацій щодо удосконалення управління якістю послуг міських автотранспортних підприємств з пасажирських перевезень [18, 19]. Також встановлено, що для розвитку транспортної системи пасажироперевезень мають запроваджуватися такі заходи: забезпечення надійності та безпеки експлуатації транспортних засобів; підвищення якості перевезень пасажирів; залучення інвестицій на оновлення застарілих та придбання нових транспортних засобів; підвищення рівня комфорту при обслуговуванні пасажирів та інші.

## 1.2. Сучасні інформаційні технології та системи для автоматизованого управління рухом транспорту

Підприємства транспорту пов'язані з пасажирськими перевезеннями в межах міст, поступово усвідомлюють необхідність впровадження інформаційних технологій в управлінні процесами пасажироперевезень.

Загалом, в інформаційній інфраструктурі застосовуються такі основні інформаційно-технологічні системи, таблиця 1.1.

Таблиця 1.1

### Основні інформаційно-технологічні системи пасажироперевезень

Вид системи	Характеристика	Забезпечення
Використання системи Інтернет	1. Створення і використання спеціальних електронних каталогів. Подібні каталоги можуть працювати в режимі прямого зв'язку «on-line» 2. Відомості про різні види транспортних засобів.	Здійснює зв'язок між усіма учасниками перевезення
Електронний обмін даними між диспетчером і перевізником	1. Оптимізація відношень між пасажиром та перевізником 2. Участь в оформленні фінансових операцій	1. Вирішує задачі диспетчеризації перевезень 2. Оптимізує вибір маршрутів 3. Підтримує оперативний зв'язок з водіями тощо.
Використання штрих-коду	1. Узгодження контролю за матеріальними та інформаційними потоками	Ідентифікація та контроль пасажироперевезень
Система прийняття оптимальних рішень	1. Управлінські системи, розроблені на базі комп'ютерних програм, що імітують поведінку пасажирів та перевізників при ухваленні рішень	1. Вибір засобів транспортування 2. Вибір оптимальних маршрутів перевезення 3. Вибір оптимального часу перевезення пасажирів 4. Вибір логістичних посередників при пасажироперевезеннях
Автоматизація та комп'ютеризація	1. Обладнання робочих місць ПК 2. ПЗ по використанню баз даних перевізників; ПЗ з використання систем прийняття оптимальних рішень 3. ПЗ по складанню таблиць, маршрутів, інструкцій, специфікацій, проведення розрахунків	1. Відслідковування руху по ділянках загального логістичного маршруту транспортування 2. Автоматизація управління процесу пасажироперевезення 3. Скорочення витрат на простой та нераціональні маршрути 4. Економічний ефект за перевезення та додаткові послуги за оптимальними схемами руху

Незважаючи на ряд проблем, які пов'язані з впровадженням інформаційно-комп'ютерних технологій в процес пасажироперевезень, таке впровадження є необхідним, що зумовлено постійно зростаючим обсягом даних, які необхідно обробити. Традиційні способи не є ефективними та недостатньо швидкими для забезпечення належної якості та точності оброблення такої інформації в подальшому управлінні підприємством міських пасажирських перевезень. Визначальним фактором в процесі управлінні є швидкість обробки даних і отримання потрібних відомостей. Обіг інформації все суттєвіше впливає на ефективність управління підприємством, його фінансові успіхи, а інформацію при цьому називають «стратегічною сировиною» [24].

Необхідність отримання та передавання якісної та точної інформації стала основою структурних і концептуальних перетворень в інформаційних службах міських підприємств транспортних пасажирських перевезень. Підхід до автоматизації управління рухом на транспорті, що був започаткований наприкінці 1960-х років, в останній час зазнав істотних змін [20]. Самостійні спеціалізовані підрозділи для збирання та оброблення даних автоматизованої системи управління (АСУ) поступово перетворилися у відокремлену інформаційну службу, що займається обробленням даних і виробленням необхідної для управління інформації безпосередньо на робочих місцях [21].

Так, окремі інформаційні системи сприяють підвищенню безпеки автотранспортних засобів пасажироперевезення для запобігання дорожньо-транспортних пригод (ДТП) та підвищення пропускної спроможності доріг (наприклад, світлофорні та інформуючі інформаційні системи) [95]. У світлофорних системах, комп'ютер, що отримує інформацію про всі транспортні засоби перевезення пасажирів в певному районі, оптимальним чином управляє світлофорами та іншими світловими дорожніми показниками (рис.1.1).



Рисунок 1.1 – Функціональна схема інформаційної системи управління світловими дорожніми показниками

Такі системи ефективні в містах з великою інтенсивністю руху, а застосування нечіткого управління в них дозволяє врахувати ряд важливих кількісних і якісних показників дорожнього руху, таких як інтенсивність транспортних потоків, пропускна здатність смуг руху, кількість перехресть, концентрація пішоходів тощо.

В інформаційних системах, на усі засоби пасажироперевезень, що знаходяться в певному районі, від центральної комп'ютерної станції або супутника надходить інформація про необхідність зміни напрямку, швидкості руху тощо. Ця інформація відображається на світловому табло, дисплеї або перетворюється в звуковий сигнал. Однією з перших світлофорних систем була розроблена у 1980-х роках в СРСР багатoproграмна світлофорна система «Спрут», яка забезпечувала оптимальне регулювання транспортних потоків на 15-20 перехрестях [96].

До різновидів таких інформаційних систем відносяться сигналізуючі системи, системи розпізнавання знаків, образів, мовних сигналів та іншого.

До даного часу створені і використовувані системи з розпізнавання маршрутів і заданням руху по певному маршруту або заданій траєкторії; системи, що сигналізують про умови зчеплення коліс з дорогою та про певні обмеження свободи руху (при забороні виконання обгону чи іншого маневру); системи, що вказують перевізнику про зміну маршруту при неможливості руху по дійсному маршруту (непереборні перешкоди, втрата орієнтації, зміна завдання) тощо [97 – 100].

Для ефективного виконання команд і завдань засобом перевезення, системі необхідно мати досить повну інформацію про навколишнє оточення

(про розташування перешкод та інших машин, власне місцезнаходження, швидкість руху, пройдений шлях, розміри об'єктів і відстань до них тощо) [101, 102].

При інтелектуалізації транспортних засобів, виділяють два аспекти: тактичний і стратегічний. Тактичний аспект пов'язаний з розробкою адаптивних систем управління з елементами інтелектуально-інформаційного обміну, яка забезпечує обмін інформацією і діагностику за стандартними програмами (наприклад, видає на табло коди пошкоджень елементів і механізмів); дає рекомендації і поради водію при відхиленні від маршруту; автоматично коригує або переналаштовує програму управління транспортом при зміні умов руху; приймає чіткі стандартні рішення в типових ситуаціях і режимах відповідно до закладених алгоритмів.

Стратегічний аспект процесу інтелектуалізації пропонує розробку систем, здатних управляти транспортним засобом на якісно новому рівні: рівні «міркувань» і «осмисленого» ухвалення рішень. Це прогнозування позаштатних ситуацій і попередження необґрунтованих дій водія: візуалізація та розпізнавання ландшафту місцевості, виявлення перешкод і перешкод на своєму шляху; самодіагностування (виявлення пошкоджень та їх причин): самонавчання алгоритмам оптимального управління; синтез нових алгоритмів власного управління тощо.

При цьому, завдання подолання «мовного бар'єру» в спілкуванні людини з комп'ютером (адаптація професійної мови водія та комп'ютерної мови) вирішується спеціальним інтелектуальним інтерфейсом, який дозволяє людині вести взаємний діалог з інформаційною системою управління (ІСУ), як на стадії проектування алгоритмів, так і на стадії управління фізичним транспортним об'єктом, рис.1.2 [103].

Експерт може проводити процедури навчання, програмуючи поведінку ІСУ для її адаптації в різних ситуаціях, а водій засобу підтримувати діалог з ІСУ.

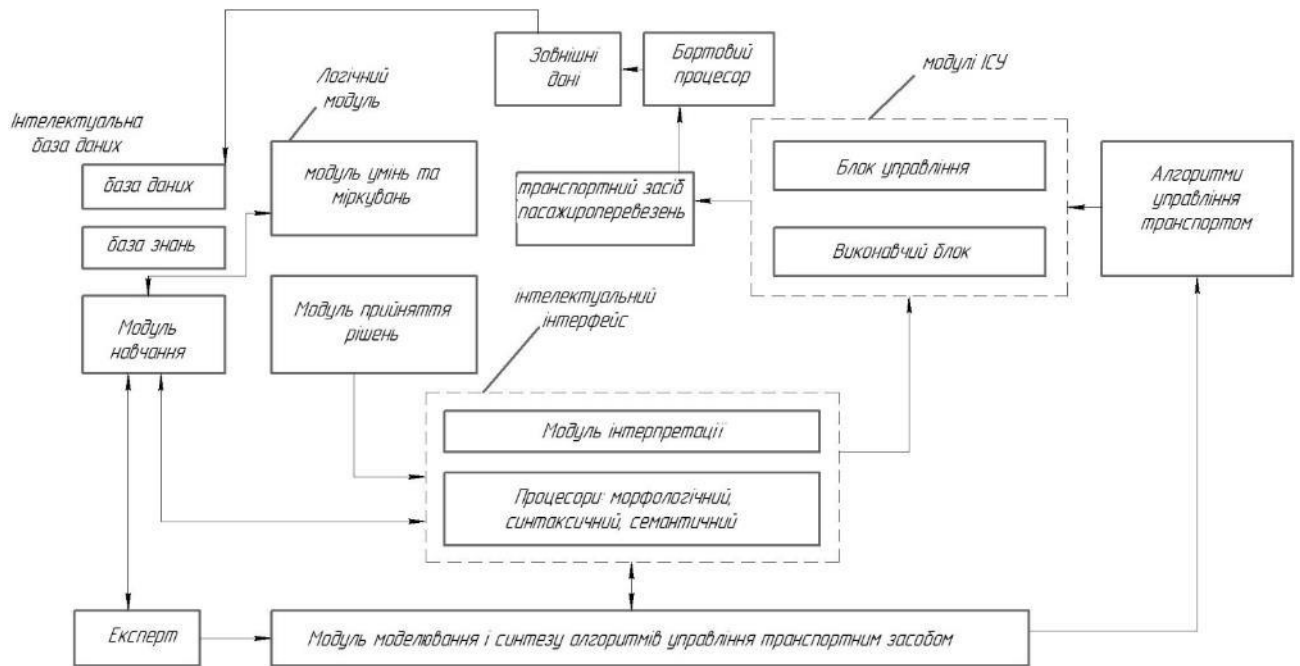


Рисунок 1.2 – Структура ІСУ транспортним засобом для пасажироперевезення найвищого рівня інтелектуалізації

У свою чергу ІСУ сама інформує водія про стан роботи підсистем, видаючи попередження про будь-які відмови, дає поради і автономно приймає рішення в екстремальних і позаштатних ситуаціях. На даному етапі можливе вирішення і такої важливої проблеми, як візуалізація і розпізнавання місцевості при русі транспортного засобу.

Бажання представити в зручній формі відомості про навколишнє середовище стимулює появу інтелектуальних систем сприйняття зорової (візуальної) інформації [104].

Сучасні інформаційні технології, що ґрунтуються на використанні концепцій інформаційних сховищ та інтелектуального оброблення даних, можуть забезпечувати віддачу до 100% і більше. Аналіз закордонного і вітчизняного досвіду комп'ютеризації автотранспортних підприємств дозволяє зробити ряд узагальнень і використовувати їх під час розробки стратегії і тактики впровадження інформаційних технологій [25].

В цілому інформаційні технології стають організаційною основою підприємств, а концепція управління інформаційними ресурсами – домінуючою [26].

Протягом останніх років ряд пасажироперевізників великих міст (Київ, Харків, Дніпро та інші) реалізує широкомасштабні заходи з автоматизації процесів перевезення в пасажирському господарстві. Ці завдання вирішуються шляхом комплексної інформатизації з використанням сучасних інформаційних технологій та обумовлюються, в основному, автоматизацією оформлення перевізних документів та їх обліку при перевезенні пасажирів загальних та спеціальних категорій. Така інформація приймає участь в обробці автоматизованими системами всіх рівнів для урахування попередніх подій, прогнозу обсягів роботи транспортних підрозділів на майбутні періоди, визначення витратних матеріалів та часу напрацювання окремих об'єктів транспортних засобів.

У загальному випадку структура (архітектура) ІСУ засобу транспортування може бути виконана так, як показано на рис.1.3.

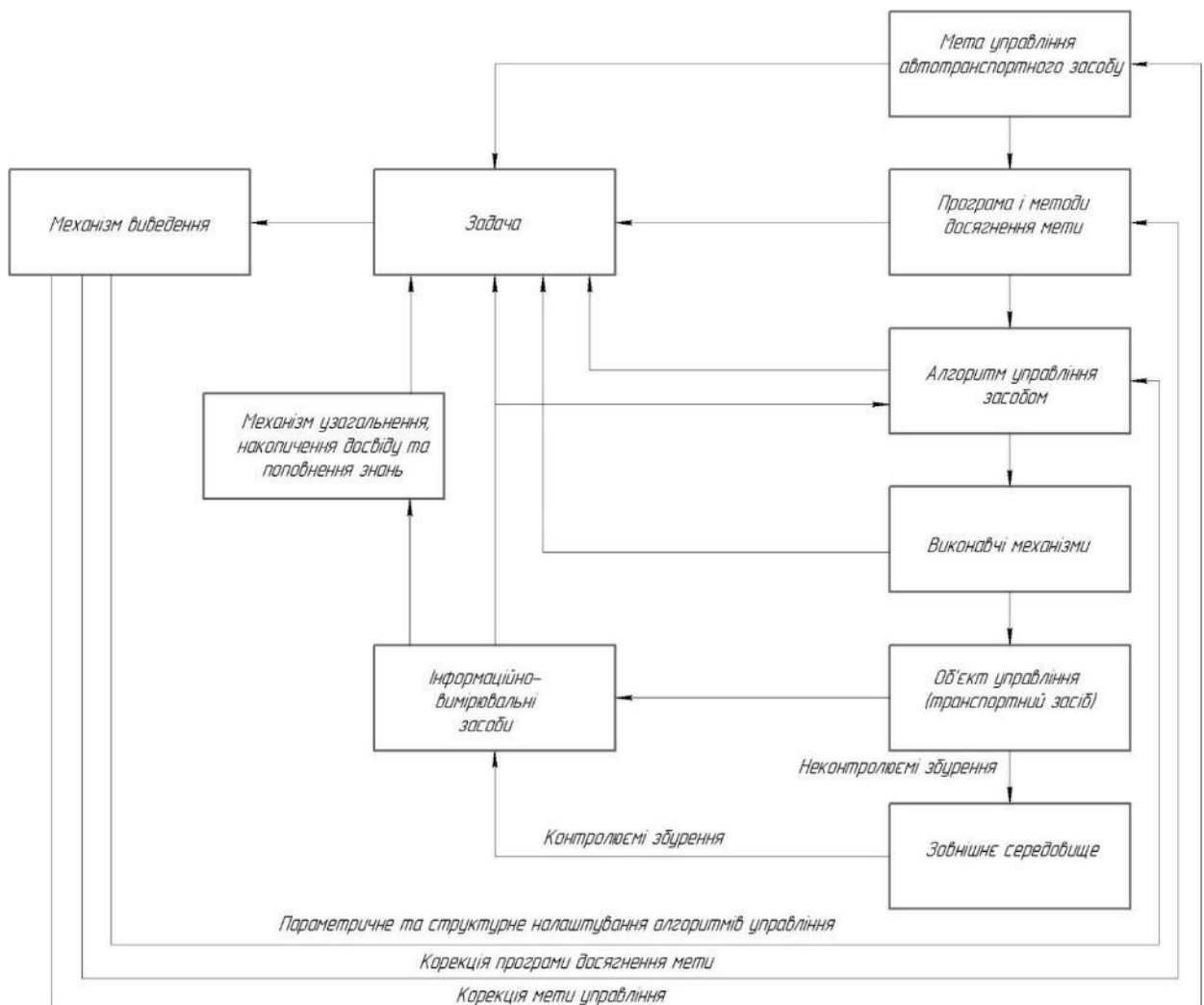


Рисунок 1.3 – Узагальнена структура ІСУ транспортного засобу



Головна відмінність, яка відрізняє ІСУ від системи, побудована за класичною схемою і полягає у під'єднанні механізмів зберігання та обробки знань для реалізації властивостей щодо виконання функцій у невизначених або неповно заданих умовах зовнішнього середовища. За необхідністю, склад системи доповнюється засобами самонавчання, що узагальнюють накопичуваний досвід, тим самим поповнюючи знання.

Розглянемо таку ІСУ транспортними засобами на прикладі реалізації за її допомогою системи автонавігації.

Автомобільні навігаційні системи (АНС) служать для визначення місцезнаходження транспортного засобу. Широке запровадження АНС отримали з моменту виникнення глобальної навігаційної системи «NAVSTAR», що дозволила за допомогою підсистеми DGPS визначати координати будь-якого об'єкта на земній поверхні з точністю до 1-2 метрів [105]. Серед інших компаній, що використовують навігаційні системи, можна відзначити наступні компанії «Alpine», «Blaupunkt», «Bosch», «Etak», «Pioneer», «Philips», «Sony» тощо [106], якими встановлено, що в Європі використання АНС дозволяє зекономити близько половини часу руху на автомобілі у пункт призначення.

Навігація здійснюється як за допомогою супутника, так і за допомогою датчиків, а також комбінованим способом.

Перший метод навігації дозволяє визначити місце положення транспортного засобу на базі сигналів, що генеруються передавачем та поступають на автомобільну систему позиціонування. Супутники рухаються такою траєкторією, щоб з кожної точки Землі постійно було видно більше трьох супутників. Окремий GPS-приймач, що отримує спеціальний навігаційний сигнал, визначає час проходження радіосигналу від супутників до приймача, за яким обраховує відстані до усіх видимих супутників. Після цього, методом тріангуляції обчислюються просторові координати об'єкту руху. Для більш високої точності визначення координат використовують диференціальні системи типу GPS (DGPS) [107].

Система визначення положення автомобіля, ґрунтується на використанні датчиків, що знаходять географічні координати за даними гіроскопу, що визначає напрямок руху, і датчика відстаней. Проте при цьому способі помилки накопичуються. Так, ймовірність помилки у визначенні координат транспорту на маршруті наряду залежить від довжини шляху, що пройшов автомобіль.

В гібридних системах використовуються два попередні типи позиціонування, чим можна уникнути великої кількості проблем.

Сучасні навігаційні системи широко використовують інтелектуальні технології, зокрема, побудовані на елементах нечіткої логіки. Вона застосовується не лише в системах інформаційної навігації, а й в автоматичних навігаційних системах, а також інтелектуальних систем навігації, управління і контролю, рис.1.4 [108].

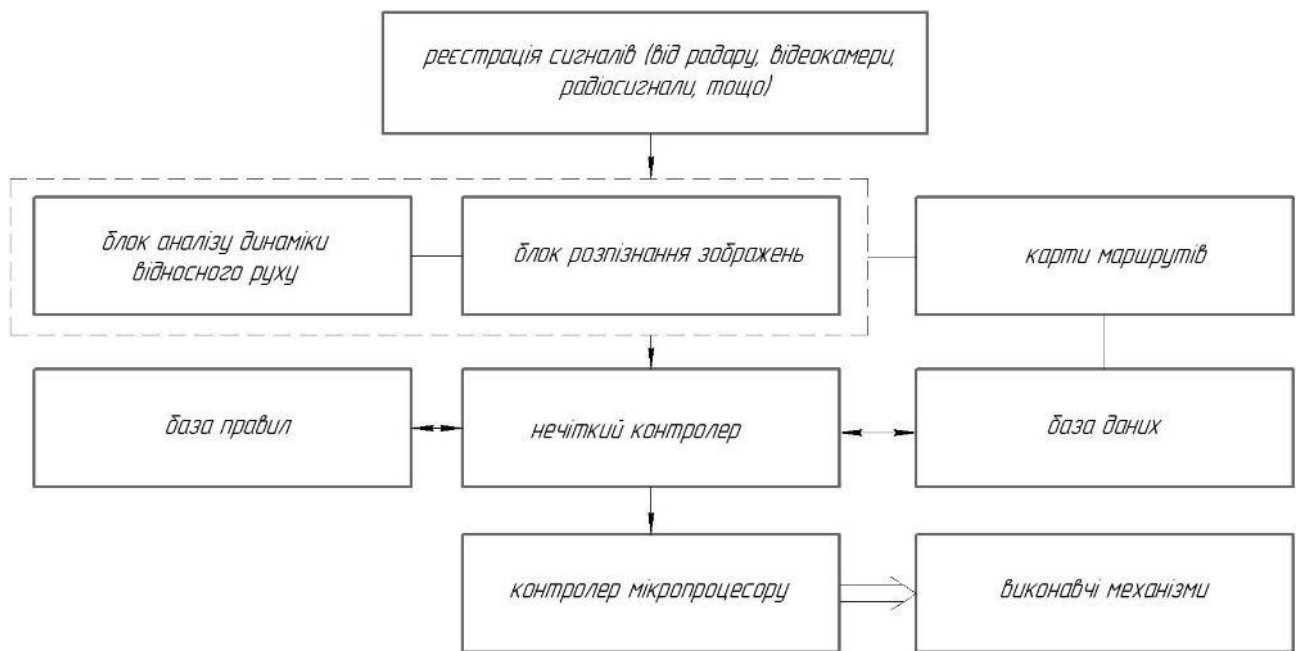


Рисунок 1.4 – Структурна схема інтелектуальної системи навігації, управління і контролю

Як можна побачити на рис.1.4, сигнали від датчиків надходять на виходи блоків розпізнавання зображень і аналізу динаміки відносного руху центрального процесу, де також знаходиться інформація про маршрути руху автомобіля. Нечіткий контролер на основі закладених в нього алгоритмів і

наявної в розпорядженні інформації формує керуючі команди контролеру мікропроцесора, які відпрацьовуються додатковими механізмами, в якості яких служать органи управління автотранспортними засобами.

В світовій практиці, для інформаційного забезпечення транспортних перевезень загалом, останнім часом завоювали популярність електронні EDI-технології (Electronic Data Interchange) [30], що включають технології для моніторингу пасажироперевезень та рухомого складу, системи навігації і автоматизовані системи управління в транспортних вузлах. EDI-технології призначені для електронного обміну документами між перевізниками та диспетчерами з використанням уніфікованих стандартів формату даних на базі UN/EDIFACT ООН [30]. Практична вигода від застосування EDI проявляється в покращенні каналів зв'язку між окремими ланками транспортних мереж та сприяє їх інтеграції, в зростанні продуктивності автотранспортних систем, в зниженні операційних, адміністративних та економічних витрат автотранспортного підприємства. Найбільшого успіху в застосуванні EDI-технології досягли США, Німеччина, Фінляндія та Ісландія.

На сьогоднішній день різні види транспорту України також мають свої автоматизовані інформаційні системи. Так, на автомобільному транспорті існують різноманітні автоматизовані системи управління, наприклад "АТП+3000" [32].

Таким чином, сьогодні на першому місці має знаходитися якість і доступність необхідної для перевізника інформації, зручність та наочність її подання та використання для вирішення завдань пасажироперевезень. Для цього пропонується створення нових інформаційно-комунікаційних служб, які нагадують старі обчислювальні центри, але з абсолютно новим підходом такі служби є логістичними центрами, що мають обслуговувати процеси пасажироперевезення і забезпечувати перевізників необхідною для їх роботи інформацією на комерційних засадах [22].

З виникненням таких логістичних центрів та інтегрованих транспортних систем для яких ключовим напрямом у розвитку є інтеграція

інформаційних потоків і комунікаційне забезпечення транспортування пасажирів, інформаційно-обчислювальне обслуговування транспортно-логістичної діяльності стає необхідністю. Ця нова науково-практична галузь пов'язана з інтеграційними процесами в економіці розвинених країн і називається телематикою [23].

З вищевказаного, можна зробити висновок про недосконалість та відсутність в пасажирському господарстві більшості міст України інформаційних систем та технологій для автоматизованого управління громадським транспортом, а застосування тих інформаційних систем та програмного забезпечення, що застосовуються на практиці в міських підприємствах України, які спеціалізуються на пасажирських перевезеннях, зводиться до документообігу та відслідковування маршрутів окремих транспортних засобів. При цьому відсутні можливості гнучкого пошуку маршрутів транспортних перевезень з використанням телекомунікаційно-навігаційних комп'ютерних технологій та які враховують вимоги безпеки і економічні інтереси усіх учасників руху, що дозволило б максимально автоматизувати управління міським пасажирським транспортом.

### 1.3. Огляд логістичних систем автоматизованого управління пасажирськими перевезеннями

Стратегія логістики характеризується ефектом інтеграції, що призводить до зменшення витрат та зростання якості обслуговування пасажирів.

Розвиток логістики на транспорті в значній мірі обумовлений розвитком інформаційно-комп'ютерних технологій [33]. У ході еволюції розуміння цілей і завдань логістичних інформаційних систем (ЛІС) було виявлено чотири базових підходи (див. Додаток А) [40].

Використання логістичних інформаційних систем як інструментарію в ланцюзі пасажироперевезень досить широко впроваджено на різних видах

транспорту, але недостатньо уваги приділено їх впровадженню на міському пасажирському транспорті.

З іншого боку збільшення кількості поїздок громадян України у міському пасажирському транспорті потребує високої якості та ефективності пасажироперевезень шляхом розробки та практичної реалізації відповідних організаційно-технічних та логістично-методичних заходів (впровадження сучасних засобів руху, оптимізація маршрутів перевезень, упровадження системи диспетчерського управління перевезеннями шляхом застосування засобів комп'ютерної техніки, оптимальна координація різних видів транспорту, оптимізація тарифів тощо) [34].

Тому, інформаційне забезпечення пропонується впроваджувати на рівні логістичного розвитку [61 – 64]: для автотранспортного підприємства (АТП) з високим рівнем логістичної привабливості – створення інформаційного логістичного центру (ІЛЦ); для АТП із середнім рівнем логістичної привабливості – забезпечення комп'ютеризованим управлінням диспетчерської служби; для АТП з низьким рівнем логістичної привабливості – забезпечення диспетчерських служб програмним управлінням для оптимізації рішень в окремих функціональних областях, автоматизація документообігу та EDI-технології.

Дослідженням актуальних питань інформаційної логістики на транспорті займались – О.О. Бакаєв, М.С. Білик, М.Ю. Григорак, А.Г. Кальченко, Є.В. Крикавський, Г.Ю. Кучерук, О.А. Новіков, Д.Т. Новікова, Л.Б. Міротін, М.А. Окландер, Ю.М. Неруш, В.І. Сергєєв, А.І. Чухрай та інші [35 – 38]. Цими вченими встановлено наступне. Впорядковані інформаційні потоки забезпечені відповідними інформаційно-технічними засобами разом з навченим персоналом складають інформаційну інфраструктуру транспортного підприємства, використання якої дозволить раціоналізувати рух пасажирських потоків, оптимізувати завантаження маршрутів, зменшити матеріальні витрати на всьому шляху логістичного руху транспортного засобу.

При цьому, раціональна взаємодія різних видів транспорту має забезпечувати високоефективні пасажироперевезення, таблиця 1.2 [41].

Таблиця 1.2

## Основні характерні схеми транспортних технологій перевезення пасажирів

Альтернативний варіант	Модель транспортної технології	Види транспорту
1	→ ПО → А → КП →	Автобус
2	→ ПО → Т → А → Тр → КП →	Трамвай, Автобус, Тролейбус
3	→ ПО → А → М → Т → КП →	Автобус, Метро, Трамвай
4	→ ПО → Т → М → А → КП →	Трамвай, Метро, Автобус
5	→ ПО → А → М → Тр → А → КП →	Автобус, Метро, Тролейбус, Автобус
6	→ ПО → Тк → Т → КП →	Таксі, Трамвай
7	→ ПО → Тр → Тк → КП →	Тролейбус, Таксі
8	→ ПО → М → Тк → КП →	Метро, Таксі
9	→ ПО → А → М → Т → Тр → КП →	Автобус, Метро, Трамвай, Тролейбус

В табл.1.2 прийняті такі позначення: ПО – первинний пункт очікування транспорту; А – автобус; Т – трамвай; М – метро; Тр – тролейбус; Тк – таксі; КП – кінцевий пункт.

Слід зауважити, що у реальних умовах мають місце й інші варіанти (окрім тих, що наведені в табл.1.2) взаємодії різних видів транспорту в залежності від обставин, які склалися. При цьому створення схеми маршрутів має засновуватися на відповідних критеріях якості і ефективності перевезень.

Найфундаментальнішою зміною, яку логістика вносить в процес управління пасажироперевезеннями є забезпечення якості та ефективності комплексного транспортного обслуговування з орієнтацією на кінцеві результати діяльності.

Критерії якості перевезень пасажирів включають [42]: час очікування транспорту у первинному пункті очікування; кількість пересадок у процесі руху від первинного до кінцевого пунктів; комфортабельність та час поїздки; вартість поїздки.

До ефективності пасажироперевезень відносяться наступні критерії [43]: собівартість та рентабельність перевезень; фондвіддача основних фондів транспортних підприємств; доходи від пасажироперевезень; продуктивність праці.

Така структура пасажирських перевезень передбачає використання якісно нової стратегічної інноваційної системи – інтегрованої логістики. Найбільш ефективні рішення в сфері інтегрованих пасажироперевезень можуть бути запроваджені із застосуванням сучасних логістичних інформаційних систем [33].

Учасники логістичних ланцюгів, ключовим елементом яких є інформаційні ресурси, в процесі взаємодії активно використовують таку перевагу ЛІС, як електронні засоби управління транспортними технологіями.

Таке впровадження автоматизованої системи управління автотранспортом здійснюється з метою впливу на рух пасажироперевізників. На комп'ютери інформаційних центрів надходять дані про транспортні потоки. Ці дані через радіо- або Інтернет-мережу передаються на транспортні засоби. Крім функцій зв'язку, транспорт перевізника може обладнуватися бортовими комп'ютерами, які без участі водія можуть керувати його роботою [53 – 55].

Сучасний науковий підхід до моделювання транспортної технології перевезення пасажирів вказує на те, що для забезпечення ефективності роботи рухомого складу необхідно вирішувати такі основні задачі [27]:

- розробка математичної моделі логістичного управління перевезеннями пасажирів –  $Z_{01}$ ;
- розробка критеріїв системної ефективності функціонування логістичної системи управління процесами перевезення пасажирів –  $Z_{02}$ ;
- розробка стратегій логічного управління перевезеннями пасажирів –  $Z_{03}$ ;
- моніторинг та моделювання процесів перевезення пасажирів для ідентифікації основних характеристик їх функціонування, розвитку й адаптації –  $Z_{04}$ ;

- оптимізація маршрутів перевезень пасажирів в умовах взаємодії різних видів транспорту –  $Z_{05}$ ;
- оптимізація організаційної і функціональної структури логістичного управління процесами перевезення пасажирів –  $Z_{06}$ ;
- створення необхідних структурних підрозділів логістичного управління –  $Z_{07}$ ;
- розробка алгоритмів оптимальної взаємодії різних видів громадського (а в ідеальному випадку – й комерційного) транспорту у процесі перевезень пасажирів –  $Z_{08}$ ;
- оптимізація руху та маршрутів транспортних засобів –  $Z_{09}$ ;
- оптимізація використання трудових, матеріальних і фінансових ресурсів –  $Z_{10}$ .

Кожна з перелічених вище задач, згідно з вимогами системного підходу, може бути представлена такою формулою [28]:

$$Z_{jk} \rightarrow M_{jk} \rightarrow A_{jk} \rightarrow P_{jk} \rightarrow R_{jk}, \quad (1.1)$$

де  $Z_{jk}$  – задача  $j$ -го рівня  $k$ -го найменування;  $M_{jk}$  – метод вирішення задачі  $j$ -го рівня  $k$ -го найменування;  $A_{jk}$  – алгоритм вирішення задачі  $j$ -го рівня  $k$ -го найменування;  $P_{jk}$  – програмно-технічні (ресурсні) засоби вирішення задач  $j$ -го рівня  $k$ -го найменування;  $R_{jk}$  – результат вирішення задачі  $j$ -го рівня  $k$ -го найменування.

Дослідження процесів логістичного управління пасажирськими перевезеннями свідчить, що в основі побудови відповідних логістичних моделей покладена методологія програмування життєвих циклів (ЖЦ) продукції та послуг [29].

Програмування ЖЦ послуг з пасажироперевезення – це процес планування заданих цільових показників цих послуг у середовищі функціонування шляхом [57]:

- оптимального розподілу об'єктів за всіма етапами ЖЦ;



- досягнення максимальної техніко-економічної ефективності систем і процесів проектування, обслуговування та забезпечення їх оптимального функціонування.

У процедурному плані програмування ЖЦ послуг з пасажироперевезень – це комплексно-цільова процедура, яка забезпечує єдність вимог до якості і ефективності пасажироперевезень на єдиній інтегрованій автоматизованій логістичній системі, незалежно від відомчого підпорядкування підприємств, організацій та установ, які задіяні в них.

Така, інтегрована автоматизована логістична система (ІАЛС) управління процесами пасажироперевезень включає системи [58]:

- автоматизовану систему диспетчерського управління пасажирським транспортом;
- автоматизовану систему управління процесами паркування транспортних засобів;
- автоматизовану експертну систему;
- автоматизовану систему обробки даних;
- автоматизовані системи управління рухом на рівні транспортних підприємств.

Ефективність логістичної транспортної системи визначається можливістю її інтеграції в поточні транспортні процеси. Створення мережевої автоматизованої системи на основі використання сучасних інформаційно-комп'ютерних технологій встановлює зв'язок між усіма учасниками логістичної мережі. Для оцінки динаміки функціонування систем логістичного управління окремими об'єктами і процесами виникає необхідність розробки відповідних моделей. Наприклад, модель ІАЛС управління пасажирськими перевезеннями [60]:

$$M_{[ІАЛА]} = M_{[ІАЛС]} \left\{ \begin{array}{l} M_{[АСУДРТЗ]}, \\ M_{[АСДУПТ]}, \\ M_{[АЕС]}, M_{[АСОД]}, \\ M_{[АСУТП]} \end{array} \right\}, \quad (1.2)$$

де  $M_{[IAIC]}$  – модель інтегрованої автоматизованої логістичної системи управління пасажирськими перевезеннями;  $M_{[ACUDPTZ]}$  – модель автоматизованої системи управління дорожнім рухом транспортних засобів;  $M_{[ACDUPIT]}$  – модель автоматизованої системи диспетчерського управління пасажирським транспортом;  $M_{[AEC]}$  – модель автоматизованої експертної системи;  $M_{[ACOD]}$  – модель автоматизованої системи обробки даних;  $M_{[ACUTP]}$  – модель автоматизованої системи управління транспортних підприємств.

Модель (1.2) може бути задана для багатьох задач, розв'язок яких забезпечує досягнення мети.

Таким чином, впровадження інформаційних транспортно-логістичних технологій (електронізація документообігу на основі стандартів EDI/EDIFACT, електронне логістичне супроводження), інтерактивна взаємодія учасників руху у логістичному ланцюзі з використанням спеціалізованих технічних та програмних засобів є необхідною умовою для реалізації гнучкої системи автоматизованого управління пасажироперевезеннями громадським транспортом в умовах міста.

#### 1.4. Аналіз державної програми підвищення безпеки пасажирських перевезень

Порівнюючи безпеку дорожнього руху країн Європи з безпекою дорожнього руху в Україні, безпека в останій є вкрай незадовільною. Причиною тому є високий ступінь дорожньо-транспортного травматизму та, навіть, смертності. Так, в Україні спостерігається у 7 – 10 разів більша кількість загиблих, ніж у розвинених країнах [65 – 68]. Щороку наслідки ДТП в Україні приносять збитків у розмірі 1,4% ВВП. При цьому з кожним наступним роком кількість автомобілів, а, відповідно, й ризики аварійності та збитки збільшуються на 8 – 12% [69]. Відсутність заходів з підвищення безпеки руху на проїзній частині, небезпека пересування та транспортування (особливо при пасажироперевезеннях) веде до зменшення

економічного розвитку країни, а також підвищення травматизму та смертельних випадків у населення.

Тому, раціональним варіантом є підвищення безпеки дорожнього руху міського пасажирського транспорту та зведення смертельних випадків до мінімуму завдяки розробленню і реалізації державної програми, удосконаленню системи управління безпекою руху у поєднанні з розширенням та модернізацією транспортних маршрутів.

Безпека дорожнього руху, система аналізу ДТП. Як відомо [73], однією з причин неефективності управління безпекою руху та високої аварійності є недостатній рівень дослідження: причин виникнення ДТП, причинно-наслідкових зв'язків та факторів впливу на ДТП, а також змін в організації управління безпекою руху. При цьому, висока смертність спостерігається від таких причин ДТП як: виїзд транспортного засобу на смугу зустрічного руху, їзда в нетверезому стані та перевищення швидкості.

Проте причини, які привели до порушень правил дорожнього руху (зокрема, невикористання засобів безпеки, конструкція та технічний стан транспортного засобу, відсутність експертних методичних засобів для встановлення причин ДТП) не досліджуються, а профілактичні заходи не вживаються. Також відсутній єдиний Державний реєстр транспортних засобів, що дуже ускладнює встановлення точної кількості транспортних засобів, задіяних у пасажироперевезеннях (тим паче, в межах міст).

Тому, потребує удосконалення існуюча система аналізу аварійності на пасажирському автотранспорті.

*Управління дорожнім рухом.* Управління дорожнім рухом є незадовільним, як через недосконалі технічні засоби (дорожні знаки, попереджувальні надписи, розмітка, світлофори, огорожі, світлова сигналізація), так і через недоліки у регулюванні руху [75 – 78]. Повільно впроваджуються автоматизовані системи управління дорожнім рухом, тоді, як значна частина світлофорів застаріла та не відповідає європейським стандартам. Не повністю відповідає сучасним вимогам інфраструктура

вулиць та автомобільних доріг: під час їх будівництва та реконструкції майже ніколи не облаштовують надземні і підземні пішохідні переходи та спеціальні велосипедні доріжки, наявність яких могла б значно скоротити дорожньо-транспортний травматизм.

Відсутність смуг руху пасажирського громадського транспорту, що погіршує ефективність транспорту загального користування. В результаті цього збільшується індивідуальний транспорт, що веде до перевантаження транспортних магістралей, а також створення умов виникнення ДТП.

Важливими чинниками підвищення ризику ДТП є реклама, що розміщена в межах зони руху вулиці, дороги, над смугами руху, на автомобілях, розміщення зупинок транспорту загального користування під шляхопроводами, на мостах та шляхопроводах, у небезпечних місцях.

Вплив безпечності конструкції та технічного стану колісних транспортних засобів на аварійність та на тяжкість наслідків ДТП. Безпека транспортних засобів забезпечується безвідмовністю всіх органів управління і механізмів, а також ергономічними показниками, від яких залежить ступінь втомлюваності водія. Розрізняють активну, пасивну і екологічну безпеку [109, 110].

Активна безпека є найважливішою і визначається такими властивостями транспорту, які сприяють попередженню ДТП або аварії. Вона забезпечується технічними та ергономічними (фізіологічними, психологічними, астрометричними та гігієнічними) показниками. До пристроїв, що забезпечують активну безпеку, відносяться: стабілізатори, антиблокувальна та противобуксовочна системи, протиугінні пристрої і сигналізація.

Пасивна безпека забезпечується тими властивостями конструкції транспортних засобів, які в разі аварії зводяться до мінімуму травмування людини. Забезпечення пасивної безпеки полягає в управлінні натягненням ременів безпеки, створення травмобезпечних бамперів, подушок безпеки, підвищенні травмобезпеки рульових колонок.

Основна мета екологічної безпеки – зменшення шкідливого впливу на учасників руху і оточуюче середовище в процесі роботи транспортних засобів. Екологічна безпека пов'язана з автоматизацією процесів, що відбуваються при згорянні палива і викиді в атмосферу відпрацьованих газів, а також запобіганням витоків робочої рідини (мастила, тосола тощо) і потрапляння її на дорогу.

Таким чином, проблема забезпечення безпеки полягає в модернізації транспортних засобів і системи управління, яка б дозволила водієві запобігати аваріям по можливості в усіх НС в процесі руху, зводити до мінімуму травмування у випадку аварії, знижувати шкідливий вплив на людину і оточуюче середовище.

На сьогодні, в Україні не врегульовані вимоги до конструкції, щодо пасивної та активної безпеки транспортних засобів, оскільки серед обов'язкових застосовують лише 29 вимог, тоді як у Росії – 84, Євросоюзі – 59 [82].

Однією з основних причин аварійності, що тягне за собою тяжкі наслідки, є технічна несправність автотранспортного засобу. Так, недосконала організація спостережень в Україні показує на рівень ДТП з причин несправності транспортних засобів, як такий, що становить менше 1%, коли у європейських країнах, де якість і системи спостереження і транспортних засобів більш висока, з цієї причини трапляється 12–25% ДТП [83]. Небезпечним також є внесення несанкціонованих змін у конструкцію такого засобу (встановлення обладнання, яке не призначене для експлуатації на таких об'єктах (газові установки, переобладнання салонів та інше), та відсутність відповідної експертизи впливу параметрів конструкції автотранспортного засобу на тяжкість наслідків ДТП.

*Вплив технічного стану дорожнього покриття та тротуарів.* Кількість ДТП через поганий стан вулиць та доріг залишається високою. Протягом 2015-2019 років кількість ДТП з причин незадовільного

технічного стану вулиць в Україні щорічно зростала на 8-15%, і за умов незадовільного технічного стану доріг – доходила до 5-6 тис. [89].

Як правило, планування міст в Україні зводиться до формування в центральній частині міста єдиного адміністративно-культурного центру з розташованими по периферії спальних масивів та промислових зон, що породжує великі потоки транспорту. При цьому дороги виконані на одному рівні, вулиці слабо забезпечені розподільними спорудами зустрічних потоків, а інформативність дорожньої інфраструктури доволі слабка.

Таким чином, реалізація положень та завдань Державної програми підвищення безпеки пасажироперевезень дозволить [94]: скоротити число смертельних випадків у 2022 році на 25-45% у порівнянні з 2018 роком; підвищити на 10 – 20% пропускну спроможність транспортних магістралей і продуктивність автомобільного транспорту; забезпечити пріоритет життя та здоров'я людини перед комерціалізацією відношення до безпеки та безпідставним бажанням неадекватних дій на вулицях та дорогах; підвищити ефективність управління безпекою (зменшенням кількості випадків перевищення швидкості, порушень правил дорожнього руху, кількості нетверезих водіїв, незастосування засобів безпеки, тощо); поліпшити дорожню інфраструктуру; поліпшити роботу рятувальних служб у ДТП та інше.

### 1.5. Постановка наукового завдання

Провівши аналіз досліджених результатів, було зроблене припущення, що створення інформаційної технології організації логістичних систем автоматизованого управління пасажирськими перевезеннями дозволить покращити ефективність та якість надання послуг з міських пасажироперевезень громадян.

Виходячи з цього, подальші дослідження були спрямовані на вирішення наукового завдання розроблення інформаційної технології

організації логістичних систем автоматизованого управління безпечними пасажирськими перевезеннями міським транспортом.

Таким чином, з усього вищезазначеного, можна визначити мету та основні задачі дисертаційного дослідження.

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності та якості обслуговування пасажирів міського транспорту шляхом використання інформаційної технології організації логістичних систем автоматизованого управління пасажирськими перевезеннями, що забезпечує визначення найбільш раціональних маршрутів та графіків руху з одночасним дотриманням безпеки усіх його учасників.

Відповідно до мети дослідження необхідно вирішити такі задачі дисертаційної роботи:

– розробити моделі міських пасажирських перевезень з використанням телекомунікаційно-навігаційних комп'ютерних технологій та урахуванням вимог безпеки і економічних інтересів усіх учасників руху;

– запропонувати метод проектування логістичної системи управління міським пасажирським транспортом в межах міст;

– дослідити ефективність удосконаленої інформаційної системи підтримки прийняття рішень для автоматизації управління та безпеки руху міським пасажирським транспортом;

– запропонувати метод отримання спеціалізованих баз знань, що ґрунтується на інформаційних технологіях, в основу яких покладено елементи штучного інтелекту, що забезпечує роботу інформаційної системи підтримки прийняття рішень для автоматизації управління міським пасажирським транспортом.

У наступних розділах представлено вирішення поставлених завдань дисертаційного дослідження.

## 1.6. Висновки до розділу 1

1. В результаті проведеного системного аналізу визначене основне проблемне питання необхідності підвищення ефективності та якості обслуговування пасажирів міським транспортом через відсутність гнучкого пошуку маршрутів транспортних перевезень та необхідності врахування вимог безпеки та економічних інтереси усіх учасників руху, вирішення якого дозволило б максимально автоматизувати управління пасажирським транспортом.
2. На основі розгляду проблематики розвитку транспортної міської системи пасажироперевезень, пропонується введення додаткових заходів (забезпечення надійності та безпеки експлуатації транспортних засобів; підвищення якості перевезень та рівня комфорту при обслуговуванні пасажирів; залучення інвестицій на оновлення застарілих та придбання нових транспортних засобів) для досягнення цілей у системі «пасажир – перевезення в межах міста – корегування (підтримка прийняття рішень) маршрутів та вартості проїзду».
3. Встановлено, що необхідними умовами для реалізації гнучкої системи автоматизованого управління пасажироперевезеннями громадським транспортом в умовах міста є впровадження інформаційних транспортно-логістичних та телекомунікаційно-навігаційних технологій, а також інтерактивна взаємодія учасників руху у логістичному ланцюзі з використанням спеціалізованих апаратно-програмних засобів, що являється методологічною основою для подальшої розробки моделей та алгоритмів гнучкого пошуку маршрутів транспортних перевезень.
4. Показано, що реалізація положень та завдань концепції державної програми підвищення безпеки дорожнього руху дозволить покращити якість та підвищити ефективність пасажироперевезень громадським транспортом.



## РОЗДІЛ 2

### ВИБІР МЕТОДУ ПРОГНОЗУВАННЯ ПАСАЖИРОПОТОКУ ТА РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ ГНУЧКОГО ПОШУКУ МАРШРУТУ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

В розділі проводиться вибір методу прогнозування пасажиропотоку та подальше розроблення моделі гнучкого пошуку маршруту транспортних перевезень. В результаті досліджень встановлені основні показники якості перевезень за основними маршрутами пасажирським транспортом на прикладі м.Черкаси, що використовуються для визначення привабливості цих маршрутів. Отримані результати доводять нестабільність інтервалів руху та наповненості міського пасажирського транспорту (МПТ), тим самим вказуючи на необхідність подальших досліджень в цьому напрямку з метою стабілізації цих факторів [111-119].

Розглянуто проблеми, що виникають при керуванні автотранспортними підприємствами та способи їх вирішення. Наведені результати прогнозування основними методами, які доцільно застосувати для вирішення сформульованої задачі. При цьому встановлено, що при використанні рекурентних нейронних мереж проводиться менша кількість циклів попередньої обробки даних у порівнянні з іншими методами прогнозування, а також мінімізація суб'єктивних впливів апріорних знань та людини на процес прогнозування. Розроблено структурну схему та створено рекурентну нейронну мережу на базі метода LSTM для прогнозування пасажиропотоку, а сам метод LSTM пропонується використовувати при прогнозуванні найбільш раціональних маршрутів для забезпечення їх максимальної завантаженості пасажирами [120-126].

В розділі проводиться створення нової нечіткої динамічної моделі вибору варіанта маршруту з урахуванням привабливості прямих, зворотних маршрутів та маршрутів із пересадками, а також вимог безпеки та економічних інтересів усіх учасників руху. Також наводяться результати

реалізації цієї моделі у програмному середовищі MatLab та її апробуванні на прикладі міського маршруту на ділянці «ІІ мікрорайон» - «Дім торгівлі», яку обслуговують шість маршрутів пасажирського транспорту. За результатами моделі будується діаграма пасажиропотоків за маршрутами [127-129].

Встановлено, що застосування теорії транспортної логістики в пасажирських перевезеннях дає можливість усунути складні протиріччя, які виникають з одного боку між пасажирськими і транспортними підприємствами, а з іншого – між транспортними підприємствами і суспільством. Теоретично доведено, що застосування логістичних підходів в організацію міських пасажирських перевезень дає транспортному підприємству переваги в боротьбі за ринок і конкурентів, веде до зниження витрат і вартості послуг, поліпшує якість обслуговування. На основі аналізу логістичних підходів в управлінні пасажирським транспортом, проведено удосконалення логістичної транспортної системи, яка, на відміну від існуючих, характеризує розгалужені багатопотокові міські транспортні процеси і системи та побудовані на базі сучасних інформаційно-комп'ютерних технологій [130-133].

## 2.1. Визначення показників якості пасажироперевезень міським транспортом

Основним завданням організації руху міського пасажирського транспорту є забезпечення якості перевезень, яка оцінюється, насамперед, середньою тривалістю очікування пасажирів на зупинці та/або середнім інтервалом руху транспортних засобів на маршруті [118]. Якість таких перевезень, крім цього, також визначають швидкість сполучення та наповненість салону транспортного засобу. Саме комплексне застосування цих показників визначають комфортність, безпеку та привабливість користування кожним видом міського транспорту.

При цьому, слід врахувати, що суттєвий вплив на забезпечення

маршрутів транспортними засобами та збільшення ступеня їх використання має нерівномірність розподілу пасажиропотоків за періодами доби [119]. Так, у робочі дні в ранкові (07.00 – 09.00) та вечірні (16.00 – 18.00) години переважають перевезення людей, що працюють, завдяки чому формуються пікові пасажиропотоки. Міжпіковий період характеризується зменшеним пасажиропотоком, що веде до зниження ефективності використання міського пасажирського транспорту за рахунок збільшення інтервалів їх руху. Останнє зумовлює збільшення часу очікування пасажирів транспортних засобів на зупинках.

У зв'язку з цим, проведені дослідження основних характеристик маршрутів та закономірностей руху міського пасажирського транспорту на прикладі м.Черкаси, що мають значне теоретичне та практичне значення.

Пасажирська транспортна система міста Черкаси налічує 17 радіальних автобусних маршрутів (№ 4-9, 11, 20, 22, 24, 25, 26, 28, 29, 31, 114, 115), що сполучають околиці міста з центральним кільцем та 8 хордових (№3, 10, 12, 21, 27, 30, 33, 36), які сполучають між собою райони міста. Радіальні маршрути обслуговуються автобусами великої та надвеликої пасажиромісткості (понад 40 осіб) – в основному, автобуси Богдан А069, БАЗ-А079 Еталон, а також МАН. Пасажиромісткість автобусів, що обслуговують хордові маршрути, як правило, не перевищує 40 осіб (в основному, це моделі Богдан А091, А092, ПАЗ 3205 тощо). Загалом містом курсує 182 автобуси [111].

Крім автобусних маршрутів, у місті налічується 9 основних тролейбусних маршрутів, популярність та попит на користування якими останнім часом зростає. Це пов'язано з удорожчанням проїзду на автобусних маршрутах за останні 5 років – від 2,5 до 5 грн., у той час як квиток тролейбус подорожчав лише з 1,5 до 3 гривень.

Зараз на тролейбусних маршрутах використовується рухомий склад пасажиромісткістю 65-80 пасажирів у кількості 60 машин типу ЗіУ-682, ЗіУ-683Б, ЗіУ-6205 (в експлуатації понад 20 років) та 28 машин типу ЛАЗ-Е183,

БКМ-321, Богдан Т70117 (в експлуатації до 20 років) [112].

Таким чином, як можна побачити з вищенаведеного, у м.Черкаси спостерігається гостра нехватка об'єктів пасажирського транспорту.

Тому, з метою прогнозування середнього пасажиропотоку на найбільш завантажених напрямках та середнього часу руху транспорту між зупинками, у розділі проводилися дослідження 12 найбільш популярних та завантажених маршрутів пасажирського транспорту міста Черкаси, табл. 2.1 [113].

Таблиця 2.1

Опис маршрутів пасажирського транспорту м. Черкаси

Номер маршруту	Вид маршруту*	Сполучення	Довжина у прямому напрямку, км.	Кількість зупинок у прямому напрямку	Довжина у зворотньому напрямку, км.	Кількість зупинок у зворотньому напрямку
1	Тр	Санаторій «Україна» – ЛФЗ «Аврора»	12,16	28	12,05	26
2	Тр	вул.Пацаєва – Черкаський шовковий комбінат	9	21	8,77	20
3	Тр	Санаторій «Україна» – Залізничний вокзал	8,62	18	8,63	19
7	Тр	вул. Можайського – Тролейбусний парк	11,57	25	11,12	23
8	Тр	вул. Руставі – ЛФЗ «Аврора»	14,3	30	13,4	30
10	Тр	вул. Теліги – Річковий вокзал	10,1	23	10,74	23
14	Тр	вул. Руставі - Аеропорт	5,85	12	6,24	15
12	Ав	вул. Кобзарська - Військомат	7,87	19	7,99	17
20	Ав	вул. Руставі - Черемушки	12,33	27	10,31	23
25	Ав	ЛФЗ «Аврора» – вул. Сумгайтська	12,06	27	11,45	24
31	Ав	сел. Дахнівка – 3-я черга ЗХВ	20,26	37	17,02	33
115	Ав	сел. Геронимівка - Райлікарня	25,49	45	25,39	44

\* Тр – маршрут тролейбусу; Ав – маршрут автобусу

Крім того, на одному із найбільш завантажених та популярних пасажирських маршрутів, а саме: автобусному маршруті №25 проводилися дослідження рівня наповнення салонів транспортних засобів візуальним методом.

Цей метод обстеження не дозволяє точно визначати основні параметри пасажирських потоків, проте легко дозволяє оцінити ступінь заповнення салонів («силуетний» спосіб).

Для реалізації цих методів спостерігачі знаходяться або у середині салону або на певних пунктах спостережень за маршрутом перевізника (наприклад, на зупинках). Самі результати спостереження оцінюються наступним чином [114]:

1 бал – пасажирами зайнято менше половини місць, призначених для сидіння;

2 бали – пасажирами зайнято більше половини місць для сидіння, але вільні місця для сидіння ще є;

3 бали – пасажирами зайняті всі місця для сидіння і до половини місць для стояння;

4 бали – пасажирами салон заповнений повністю, але є вільні місця для стояння;

5 балів – транспортний засіб переповнений і увійти в нього неможливо.

Більш доступним і зрозумілим показником, який відображає рівень наповнення пасажирських салонів транспортних засобів, на думку автора, має бути відсоток наповнення салону МПТ від номінальної його пасажироємності. Відповідність ступеню наповнення салону бальним оцінкам така [115]: 1 бал – до 25%; 2 бали – 26-50%; 3 бали – 51-75; 4 бали – 76-96; 5 балів – 97-105%.

Як показує досвід, використання візуальних методів, найточнішу інформацію можна отримати при розміщенні спостерігачів на зупинках, що передують виїзду зі спального району, або вїзду до центру або промислової зони. Так, в основу визначення наповненості салону автобусів на маршруті

№25 був покладений «силуетний» спосіб, як такий, що дозволив би найбільш точно визначити початкові параметри моделі вибору маршруту пересування. Перебуваючи на посту спостереження (зупинка вул. Одеська) з 7.00 до 9.00 год. упродовж п'яти робочих днів тижня, був заповнений обліковий журнал, табл.2.2.

Таблиця 2.2.

Фрагмент даних з облікового журналу (пункт спостереження – зупинка «вул. Одеська») за рівнем наповненості салонів автобусів по радіальному маршруту №25, який прямував зі спального (Південно-Західного) району у сторону центру. Дата проведення досліджень – 15 квітня 2019 року (понеділок)

Час прибуття	Заповнення салону		Кількість осіб, що		Примітка
	бали	%	Зайшли в салон на зупинці	Вийшли із салону на зупинці	
07.03	2	45	2	8	
07.11	3	55	2	1	
07.19	3	75	—	2	
07.25	4	85	1	—	
07.37	5	100	2	—	
07.41	4	90	—	3	
07.49	4	95	3	—	
07.54	5	100	2	—	
08.02	5	100	1	—	
08.09	5	105	—	—	
08.15	5	105	—	—	Не зупинився
08.22	5	100	—	1	
08.29	5	100	—	2	
08.35	4	85	2	—	
08.45	3	70	—	1	
08.53	3	75	3	—	
09.01	2	50	1	—	
Середнє заповнення салону автобусів, %		85	19	18	

З використанням таких журналів, аналогічним чином досліджувалися

також інші одинадцять маршрутів для часу «пік». За отриманими результатами розраховувалися середні значення заповнення салонів транспортних засобів.

В результаті спостережень за заповненням салонів пасажирських транспортних засобів оцінювалась не лише ступінь їх заповнення за часовими періодами, але й зафіксовано фактичний графік руху транспортних засобів. Також зроблено висновки про те, як на ступінь заповнення салонів впливає регулярність рейсів.

Так, на ступінь заповнення салонів транспортних засобів впливає багато факторів: маршрут, інтервали та інтенсивність руху, середня швидкість транспортного потоку, тощо. Інтервал руху має розглядатися як інтервал часу коли транспортний засіб знаходиться на маршруті. Затримки в русі або необґрунтоване збільшення інтервалу руху на маршруті пасажирського транспорту породжує накопичення пасажирів на зупинках, що в свою чергу, як зазначено в [116] може призвести до наступного:

- зниження якості обслуговування пасажирів;
- перевищення номінальної пасажироємності салонів, що зумовлює ріст транспортної втоми пасажирів;
- зростання тривалості поїздки пасажира за рахунок росту тривалості очікування на зупинці;
- ймовірності відмови у поїзді з причини відсутності місць у транспортному засобі.

За для перевірки відповідності дійсних інтервалів руху пасажирського транспорту м.Черкаси його паспортним значенням [113], проводилися натурні дослідження з визначення середніх інтервалів на прикладі вищезазначеного автобусного маршруту 25 («ЛФЗ «Аврора» – «вул. Сумгайтська») у ранковий піковий час з 7:00 до 9:00 години.

Точність та вірогідність перевіряємої інформації пов'язана з кількістю даних у вибірці. У випадку, коли фізична величина (в даному випадку, інтервал часу) за своєю суттю є величиною стохастичною і

підпорядковується нормальному закону, то розмір вибірки визначається так [117]:

$$n_B \geq \frac{t_\beta^2 \cdot \sigma^2}{\Delta^2} = \frac{t_\beta^2 \cdot v^2}{\varepsilon^2}, \quad (2.1)$$

де  $t_\beta$  - нормоване відхилення поточних значень випадкових величин  $x_i$  у вибірці від середнього  $\langle x \rangle$ , яке залежить від заданого рівня довірчої імовірності  $\beta$ :

$$t_\beta = \frac{x_i - \langle x \rangle}{\sigma}; \quad (2.2)$$

$\sigma$  - середнє квадратичне відхилення випадкової величини,  $\sigma = 2,64$ ;

$\Delta$  - абсолютна точність – ширина довірчого інтервалу, який із заданим рівнем довірчої імовірності  $\beta$  має знаходитись у генеральній сукупності  $\langle x \rangle$ ;

$v$  - коефіцієнт варіації нерівномірності розподілу,  $v = \sigma / \langle x \rangle$ ;

$\varepsilon$  - відносна похибка вимірювання випадкових величин,  $\varepsilon = \Delta / \langle x \rangle$ .

Необхідну кількість досліджень визначали з позицій забезпечення вірогідності отриманих результатів на рівні довірчої імовірності 0,95. Похибка вимірювання приймалася такою:  $\varepsilon = 0,15$ . При цьому, коефіцієнт варіації нерівномірності розподілу дорівнює  $v = 0,5$ .

За попередньо зібраними даними про інтервали руху встановлено, що вони підпорядковуються нормальному закону розподілу (рис.2.1).

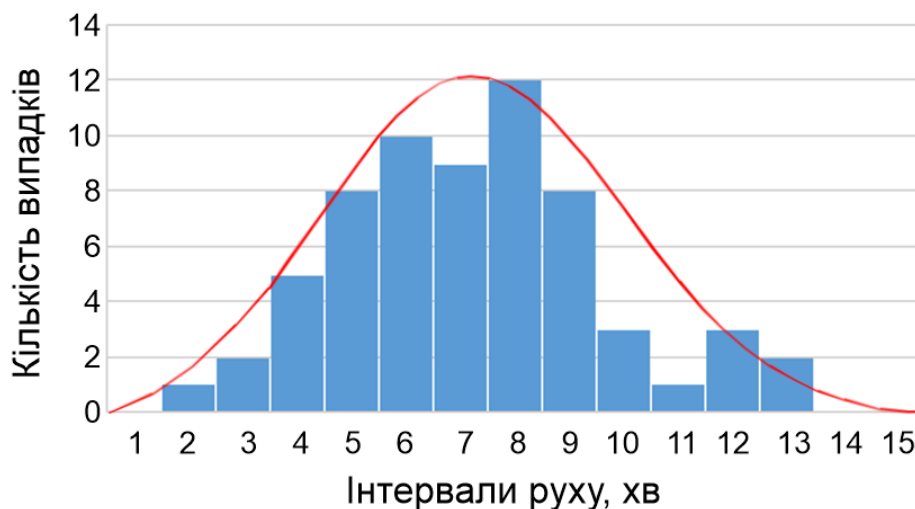


Рис.2.1. Розподіл інтервалів руху між транспортними засобами по автобусному маршруту №25



Виходячи з цього, потрібна кількість дослідів становила  $n_B \geq \frac{1,35^2 \cdot 0,5^2}{0,15^2} = 20$ . Продовж усього дослідження зафіксовано по 16 інтервалів руху для кожного з напрямків (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

## Інтервали руху між автобусами маршруту №25 (у хв.)

Спостережний пункт №1 (зупинка – вул. Одеська)																
У прямому напрямку	10	10	12	8	7	7	6	7	8	9	8	10	7	8	6	10
У зворот- ному напрямку	8	8	6	12	4	8	5	8	7	6	7	6	10	7	8	8
Спостережний пункт №2 (зупинка – Вантажний парк)																
У прямому напрямку	7	9	9	11	6	8	8	9	7	7	9	10	11	8	9	7
У зворот- ному напрямку	9	10	10	9	8	6	5	5	8	6	7	6	7	10	8	7

Проаналізувавши дані з табл. 2.3 встановлено середні значення інтервалів руху між автобусами маршруту №25 на кожному з двох контрольних спостережних пунктів (хвилин):

	до центру	з центру
Пункт №1	7,4	8,3
Пункт №2	8,4	7,5

Аналогічним чином проводилося дослідження й інших маршрутів пасажирського транспорту.

Для остаточного аналізу зміни інтервалів на маршрутах виконувалася статистична обробка отриманих результатів.

Так, для кожної серії дослідів будувались гістограми розподілу інтервалів та відповідні їм кумулятивні криві (рис. 2.2).

Отримані результати доводять, що найкоротший інтервал між

транспортними засобами за досліджуваний період становлять 4 хв., а найбільший – 12 хв. Згідно з паспортом маршруту №25, інтервал руху автобусів має бути у межах 5-8 хв.

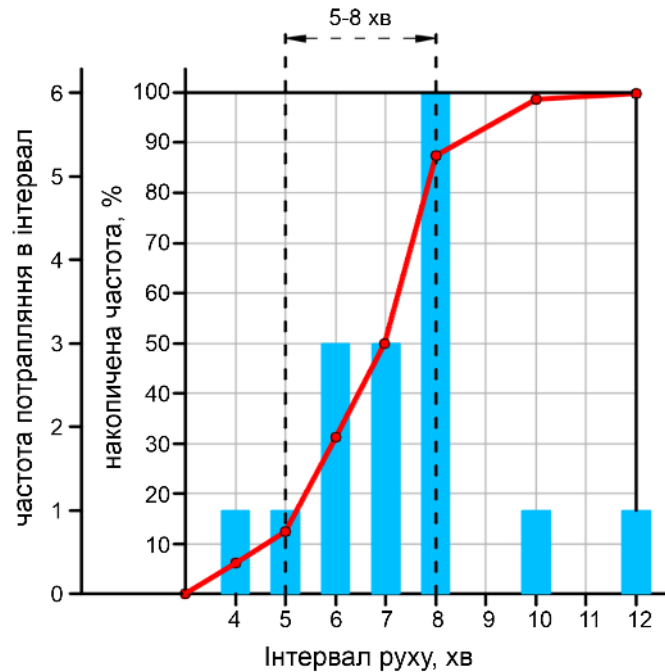


Рис.2.2. Гістограма та кумулятивна крива розподілу інтервалів між пасажирськими автобусами маршруту №25, які рухаються в зворотному напрямку (напрямку центру) (зупинка «вул. Одеська»)

У спостережному пункті №1 (зупинка «вул. Одеська») у напрямку до центру шість автобусів у час «пік» порушили регламентований паспортом графік руху, у зворотну сторону – три. У спостережному пункті №2 (зупинка «Вантажний парк») в сторону до центру зафіксовано 8 аналогічних порушень, з центру – 5. Причинами цього – затори у транспортному потоці, на регульованих вулицях та на перехрестях, що призвело до переповнення салонів автобусів (коли інтервали руху були довшими за 8 хвилин) і недостатнього заповнені (інтервали коротші за 5 хвилин).

Серед багатьох факторів, що впливають на якість функціонування громадського транспорту головними, з точки зору доступності та якості пасажироперевезень, обрано наступні показники: час доїзду до пункту призначення, інтервал руху та наповненість салонів. Кількісні значення цих факторів для вищезазначених маршрутів наведені у табл.2.4.

Таблиця 2.4.

## Визначальні показники руху пасажирського транспорту м. Черкаси

Номер маршруту	Вид маршруту*	Середні значення визначальних факторів		
		Тривалість маршруту, хв	Інтервал руху, хв	Наповненість, %
1	Тр	53	15	95
2	Тр	39	75	100
3	Тр	35	25	70
7	Тр	48	16	85
8	Тр	59	135	90
10	Тр	44	11	75
14	Тр	27	60	60
12	Ав	34	50	60
20	Ав	52	7	70
25	Ав	53	8	85
31	Ав	78	11	90
115	Ав	96	15	80

\* Тр – маршрут тролейбусу; Ав – маршрут автобусу

Таким чином, проведеними дослідженнями визначено основні показники якості перевезень 12-ти основними маршрутами міським пасажирським транспортом у м.Черкаси, що в подальшому будуть використовуватися для визначення привабливості цих маршрутів для потенційних пасажирів.

Отримані результати доводять нестабільність інтервалів руху та наповненості МПТ, тим самим вказуючи на необхідність подальших досліджень в цьому напрямку з метою стабілізації цих факторів. Для цього планується провести дослідження часових характеристик наповнення салонів міських пасажирських транспортних засобів, розподілу інтервалів руху між ними та часу доїзду до пункту призначення для визначення привабливості маршрутів та вироблення пропозицій щодо гнучкого керування пошуку маршрутів цих засобів.

## 2.2. Оцінювання та вибір методу прогнозування пасажиропотоку міським транспортом

Прогнозування часових подій – це важлива область машинного навчання. Проте, компонент часу надає додаткову інформацію, чим ускладнює обробку завдань часових подій в порівнянні з іншими завданнями прогнозування.

Основним завданням даного підрозділу є оцінювання існуючих методів прогнозування пасажиропотоку, провадження нових алгоритмів та методів, вибір найраціональнішого методу та його програмної реалізації для прогнозування пасажиропотоку.

У зв'язку з цим розглянуто найпоширеніші методи для прогнозування часових подій.

На сьогоднішній день в методах машинного навчання та алгоритмах глибокого навчання запроваджені нові підходи до проблеми прогнозування. Серед методів машинного навчання, які використовують для прогнозування часових рядів, в основному виділяють такі методи, як метод опорних векторів, випадковий ліс. Серед методів глибокого навчання виділяють метод рекурентної нейронної мережі (RNN), метод довгої короткострокової пам'яті (LSTM) та їх варіації. Методи глибокого навчання здатні боротися із нелінійністю та часовою складністю прогнозування. Зокрема, метод LSTM використовується у багатьох областях програмування, таких як обробка природної мови, розпізнавання рукописного тексту, ідентифікація мови, прогноз часових подій [120] тощо.

Питанням даного підрозділу є порівняння точності традиційних методів прогнозування із точністю методів глибокого навчання. Після дослідження предметної області було виявлено, що на даний момент усі основні існуючі програми для прогнозування пасажиропотоку в Україні використовують традиційні методи замість методів машинного навчання.

«Наївні» моделі прогнозування. В процесі прогнозування з використанням "наївних" моделей вважається, що певний період прогнозованих часових подій найкращим чином описує їхнє майбутнє. Через це в «наївних» моделях функція прогнозу, як правило, є дуже простою функцією, що залежить від значень прогнозованої змінної в найближчому минулому (відповідає припущенню щодо повторення сьогоденних подій в майбутньому):

$$Y_{t+1} = Y_t. \quad (2.3)$$

Така примітивна модель має не високу точність. Модель не враховує механізми, які визначають прогнозовані дані (що притаманно більшості статистичним методам). Також в моделі відсутній захист від впливу сезонних випадкових коливань і тенденції. Проте, можна побудувати «наївні» моделі так:

$$Y_{t+1} = Y_t + [Y_t - 1], \quad (2.4)$$

$$Y_{t+1} = Y_t \cdot [Y_t / Y_{t-1}], \quad (2.5)$$

чим враховується спроба пристосування моделі до можливих тенденцій, або дозволяє брати до уваги сезонні коливання:

$$Y_{t+1} = Y_t - S, \quad (2.6)$$

Результати прогнозування пасажиропотоку «наївними» методами наведено на рис.2.3.

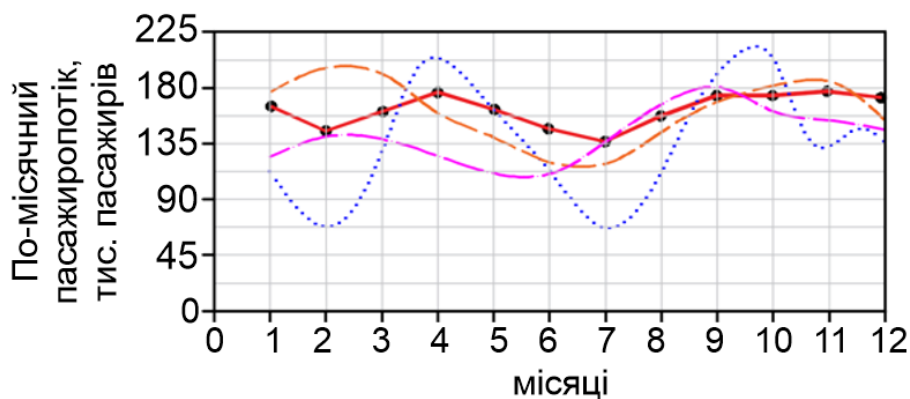


Рис.2.3. Результати по-місячного прогнозування пасажироперевезень «наївними» методами для маршруту №25 (м.Черкаси) за 2019 рік:

Пояснення до рис.2.3: (—○—) – експериментально отримані дані; (— —) – результати прогнозування методом мультиплікативної декомпозиції; (— ■ —) – результати прогнозування методом адитивної декомпозиції; (■ ■ ■) – результати прогнозування методом часових подій

*Метод Бокса-Дженкінса (ARIMA).* В сімейство моделей, що називаються методами Бокса-Дженкінса входить декілька алгоритмів, найвідомішим і найбільш затребуваних з яких є алгоритм ARIMA, що вбудовується майже в кожний спеціалізований математичний програмний пакет прогнозування. Класичний варіант алгоритму ARIMA не використовує незалежні змінні, а застосовує лише попередньо отриману інформацію із раніше прогнозованих подій. Проте, можливості алгоритму при цьому обмежуються.

Проти вищерозглянутих методів «наївного» прогнозування часових подій, метод ARIMA не має однозначної моделі прогнозування. Задається лише узагальнений клас моделей, якими описуються часові події. Такі моделі, ґрунтуючись на попередніх значеннях змінної, дозволяють визначати її дійсне значення. Далі, через налаштування параметрів алгоритму, останній сам обирає відповідну модель прогнозування.

ARIMA – це узагальнення авторегресійної моделі ковзної середньої, яка поєднує в собі авторегресивний процес (AR) та процес ковзного середнього (MA), обробляє і створює складну модель часових подій.

Модель розбивається на ключові частини  $(p, d, q)$  наступним чином:

AR: авторегресія. Регресійна модель, яка використовує залежності між спостереженням і числом відставання спостережень  $(p)$ .

I: Інтегрування – для перетворення часового ряду в стаціонарний, через вимірювання відмінностей спостережень в різний час  $(d)$ .

MA: Ковзного середнього – підхід, який враховує залежність між спостереженнями та умовою залишкової помилки, коли для спостережень використовується скоригована середня модель  $(q)$ .

Проста форма AR моделі замовлення  $p$ , тобто  $AR(p)$ , може бути записана у вигляді лінійного процесу, який задається так:

$$x_t = c + \sum_{i=1}^p \phi_i x_{t-i} + \varepsilon_t, \quad (2.7)$$

де  $\phi$  – ваговий коефіцієнт поточного або попередніх значень стохастичного терму в часовому ряді,  $\varepsilon$  – послідовність гаусівського білого шуму із середнім, що дорівнює нулю і дисперсією  $\Sigma \varepsilon^2$  [121]. Об'єднавши ці дві моделі разом, отримується модель ARIMA порядку  $(p, q)$ .

В методі ARIMA можуть використовуватися нестационарні дані часових подій через його «інтегровані» кроки. Фактично «інтегрування» компонентів включає в себе диференціювання часових подій для перетворення нестационарних часових подій у стаціонарні. Загальна форма моделі ARIMA позначається як  $ARIMA(p, d, q)$ .

З використанням методу ARIMA, отримані наступні результати прогнозування пасажироперевезень маршрутом №25 (м.Черкаси) за 2019 рік, рис.2.4.

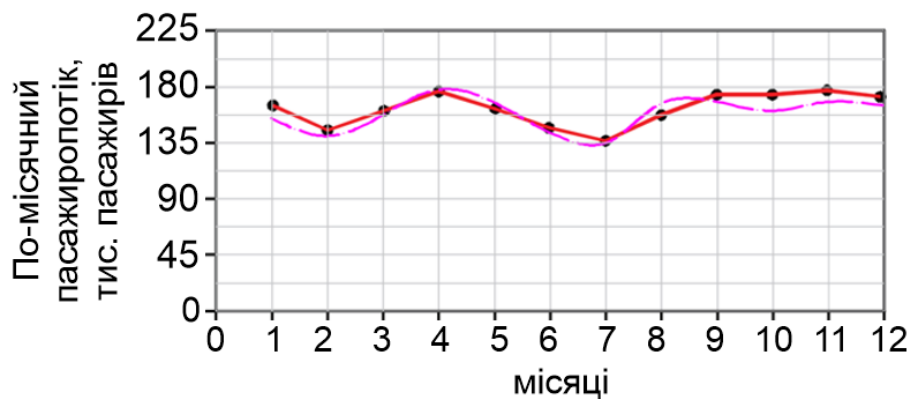


Рис.2.4. Результати прогнозування пасажироперевезень методом ARIMA маршруту №25 (м.Черкаси) за 2019 рік: (—○—) – експериментально отримані дані; (—■—) – результати прогнозування методом ARIMA

За даними сезонних часових подій, скоріше за все, на модель будуть впливати короткі несезонні параметри. Таким чином, необхідно оцінювати модель ARIMA, що працює з короткостроковими несезонними компонентами. Таким чином, модель визначається так:

$$AR(p)+MA(q)\rightarrow ARMA(p,q)\rightarrow ARMA(p,q)(P,Q)\rightarrow ARIMA(p,q,r)(P,Q,R). \quad (2.8)$$

*Авторегресивна модель порядку p.* Авторегресивна модель AR(p) може бути записана у вигляді наступного рівняння:

$$\begin{aligned} Y(t) &= f_0 + f_1 \cdot Y(t-1) + f_2 \cdot Y(t-2) + \dots + f_p \cdot Y(t-p) + E(t) \\ &= f_0 + f_1 \cdot Y(t-1) + f_2 \cdot Y(t-2) + \dots + f_p \cdot Y(t-p) + Err(t), \end{aligned} \quad (2.9)$$

де  $Y(t)$  – залежна змінна у момент часу  $t$ ;  $f_0, f_1, f_2 \dots, f_p$  – параметри, що оцінюються,

$Err(t)$  – помилка від впливу змінних, що не були враховані в моделі. Задача полягає у визначенні значення параметрів  $f_0, f_1, f_2 \dots, f_p$ , які оцінюються системою рівнянь Юла-Уолкера [122]. Результати прогнозування пасажироперевезень за авторегресійної моделі наведені на рис.2.5.

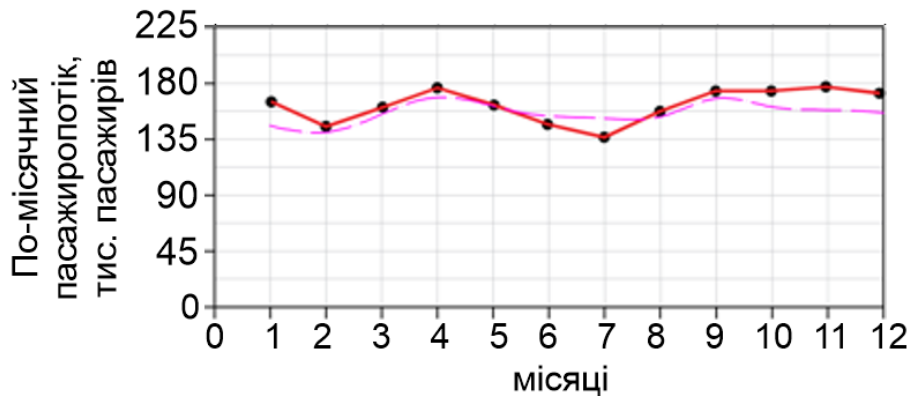


Рис.2.5. Результати прогнозування пасажироперевезень з використанням авторегресійної моделі для маршруту №25 (м.Черкаси) за 2019 рік: (о) – експериментально отримані дані; (—▪—) – результати прогнозування авторегресійною моделлю

*Штучна нейронна мережа.* Нейронна мережа складається як мінімум з трьох шарів: 1) вхідний шар, 2) приховані шари і 3) вихідний шар. Кількість характеристик в наборі даних визначає розмірність та кількість вузлів у вхідному шарі. Ці вузли з'єднані через посилення, що називаються "синапсами", до вузлів, що знаходяться у прихованому шарі. Посилення синапсів передають ваговий коефіцієнт для кожного вузла вхідного шару. Вагові коефіцієнти допомагають приймати рішення, який сигнал або вхід



може пройти і який не може. Вагові коефіцієнти також показують пріоритет проходження сигналу до прихованого шару. Нейронна мережа весь час вчиться, коригуючи ці коефіцієнти для кожного синапсу.

У прихованих шарах вузли застосовують функцію активації (наприклад, сигмоїдний або гіперболічний тангенс) на зважені суми входів для перетворення вхідних даних на вихідні. Вихідний шар генерує вектор ймовірностей для різних виходів і обирає той, який мінімізує відмінності між очікуваними та прогнозованими значеннями.

Щоб знайти найбільш оптимальні значення для вектору вагових коефіцієнтів, використовується метод зворотного поширення помилок. Від вихідного шару до прихованих шарів регулюються вектори вагових коефіцієнтів за допомогою стохастичного градієнтного спуску.

Для отримання більшої точності процедура навчання вагових коефіцієнтів повторюється.

*Рекурентні нейронні мережі.* Рекурентна нейронна мережа (RNN) – це особливий тип нейронної мережі, де метою є прогнозування наступного кроку в послідовності спостережень щодо попередніх кроків послідовності. Головна ідея RNN – це використання послідовних спостережень та навчання на попередніх етапах для прогнозування майбутніх тенденцій [123]. В результаті необхідно запам'ятовувати попередні дані для прогнозування даних в майбутньому. У RNN приховані шари діють як внутрішня пам'ять для зберігання інформації, що була зібрана на попередніх етапах обробки послідовностей даних. RNN називаються саме рекурентними, оскільки вони використовують попередні дані для прогнозування наступних даних. Архітектура простої рекурентної мережі Елмана представлена на рис. 2.6.

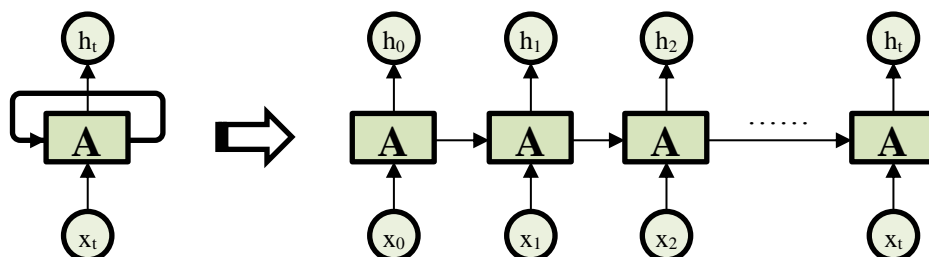


Рис.2.6. Архітектура рекурентної нейронної мережі Елмана

Рекурентні нейронні мережі відрізняються від нейронних мереж прямого поширення саме зворотними зв'язками, пов'язаними з попередніми рішеннями. Ці зв'язки отримують результати відразу після ведення даних.

Так, на рис.2.7 наведено результати прогнозування пасажироперевезень рекурентною нейронною мережею.

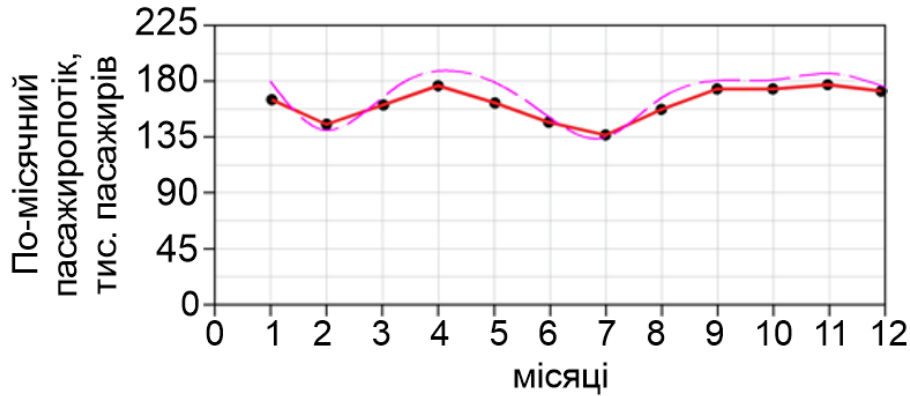


Рис.2.7. Результати прогнозування пасажироперевезень з використанням рекурентної нейронної мережі для маршруту №25 (м.Черкаси) за 2019 рік: (○) – експериментально отримані дані; (— ■ —) – результати прогнозування рекурентною нейронною мережею

Головна проблема класичних RNN полягає в тому, що ці мережі пам'ятають лише кілька попередніх кроків у послідовності і, таким чином, не підходять для запам'ятовування довгих послідовностей даних. Ця складна проблема вирішується за допомогою "рідкої пам'яті", що вводиться в мережі – «довгої короткочасної пам'яті» (LSTM).

*Мережа «довгої короткочасної пам'яті» LSTM.* Довга короткочасна пам'ять (англ. Long short-term memory; LSTM [124]) – різновид архітектури рекурентних нейронних мереж (RNN), яка, за достатньої кількості вузлів мережі, може обчислювати будь-яку задачу, за умови, що вона має належну матрицю вагових коефіцієнтів, що може розглядатися як її програма. В перевагу над традиційними рекурентними нейронними мережами, LSTM добре підходить для навчання, класифікації, обробки або передбачення подій в умовах часових затримок невідомої тривалості між важливими подіями.

Мережа LSTM є штучною нейронною мережею, яка окрім інших вузлів містить вузли рекурентної нейронної мережі для запам'ятовування значень довгих та коротких проміжків часу. Крім того, блоки LSTM містять три – чотири «вентилі», що реалізовані із застосуванням логістичної функції для обчислення значень в діапазоні  $[0; 1]$  і які використовуються для керування вхідною-вихідною інформацією. Для часткового дозволу або заборони передавання вхідної-вихідної інформації з пам'яті застосовуються вагові коефіцієнти. Так, «вхідний вентиль» керує мірою, що контролює запам'ятовування нового значення. «Запам'ятовуючий вентиль» керує мірою, що контролює збереження значення в пам'яті. «Вихідний вентиль» керує мірою, що контролює процес обчислення значення в пам'яті.

Дана мережа добре підходить для передбачення часових подій, адже вона враховує “досвід”, накопичений раніше. Головною відмінністю LSTM від RNN є наявність вузлів, які виділяються для запам'ятовування значень для довгих проміжків часу [125]. Це відбувається за рахунок того, що такі вузли не використовують функції активації, що не змінює дані.

LSTM має форму ланцюга повторюваних модулів нейронної мережі.

На рис.2.8. зображена структура мережі LSTM застосована для прогнозування пасажироперевезень, яка має чотири приховані шари та використовує сигмоїдальну функцію та гіперболічний тангенс в якості функції активації.

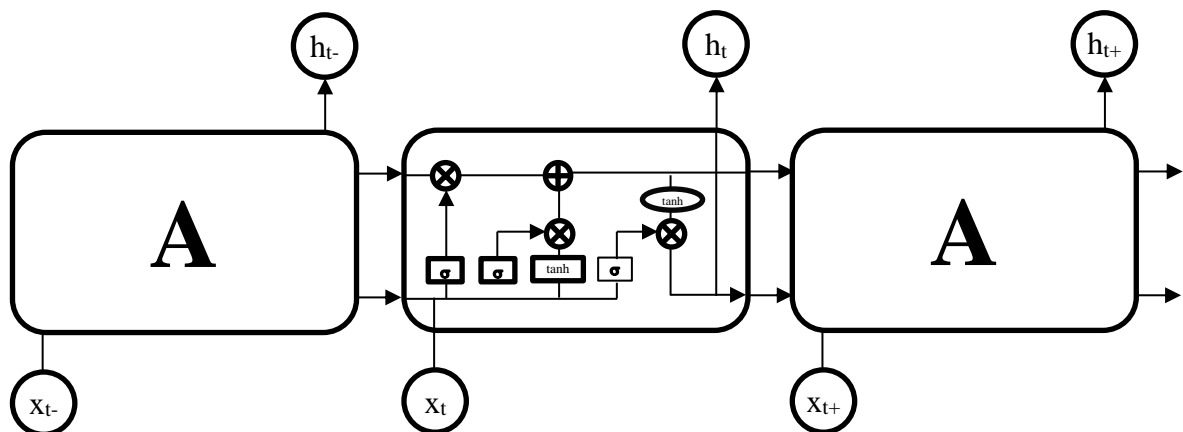


Рис.2.8. Структура мережі LSTM, розробленої для прогнозування пасажироперевезень

Тренування нейронної мережі відбувається шляхом зворотного поширення в часі, де використовується метод ітеративного градієнтного спуску, що змінює усі вагові коефіцієнти в пропорції до відношення «похідна – помилка» [126].

Традиційна LSTM з вентилями забування, рис.2.9 при  $c_0 = 0$ ,  $h_0 = 0$ :

$$f_t = \sigma_g(Wfx_t + Ufh_{t-1} + bf) \quad (2.10)$$

$$i_t = \sigma_g(Wix_t + Uih_{t-1} + bi) \quad (2.11)$$

$$o_t = \sigma_g(Wox_t + Uoh_{t-1} + bo) \quad (2.12)$$

$$c_t = f_t c_{t-1} + i_t \sigma_c(Wcx_t + Uch_{t-1} + bc) \quad (2.13)$$

$$h_t = o_t \sigma_h(c_t) \quad (2.14)$$

Тут:  $x_t$  – вхідний вектор;  $h_t$  – вихідний вектор;  $c_t$  – вектор станів;  $W$ ,  $U$  та  $b$  – матриці параметрів і вектори  $f_t$ ,  $i_t$  та  $o_t$  – вектори вентилів:  $f_t$  – вентиля забування, ваговий коефіцієнт запам'ятовування старої інформації,  $i_t$  – вхідного вентиля, ваговий коефіцієнт отримання нової інформації,  $o_t$  – вихідного вентиля, ваговий коефіцієнт кандидату на вихід.

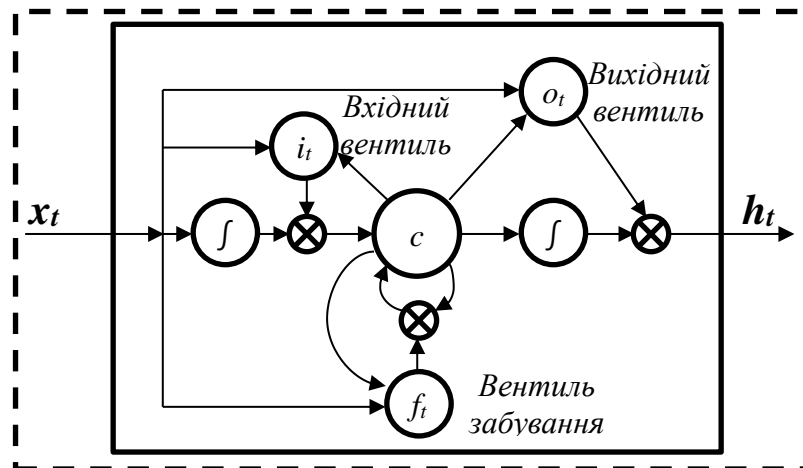


Рис.2.9. Простий LSTM-блок з трьома вентилями

Порівняння експериментально-статистичних даних з результатами прогнозування пасажироперевезень методом LSTM для маршруту №25 (м.Черкаси) за 2019 рік наведено на рис.2.10.

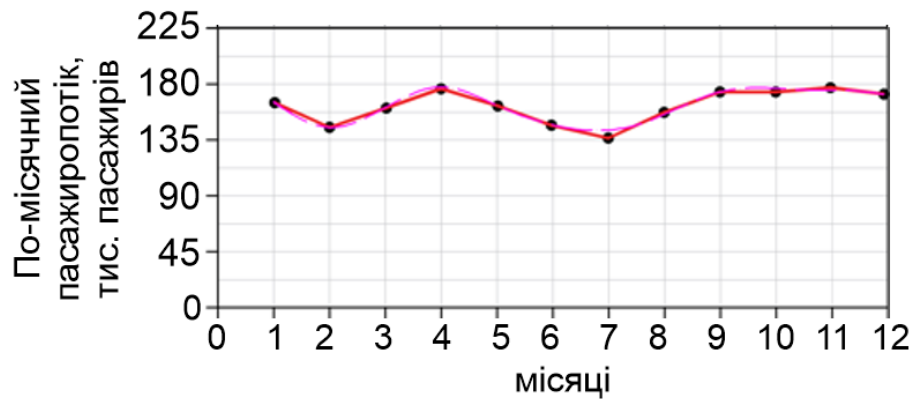


Рис.2.10. Порівняльний аналіз експериментально отриманих статистичних даних (○) та результатів прогнозування пасажироперевезень з використанням мережі LSTM (— ■ —) для маршруту №25 (м.Черкаси) за 2019 рік

Як видно із рис.2.10, по-місячний пасажиропотік маршруту №25 має квазігармонічний характер, в якому спади перевезень припадають, передбачувано, на місяці зимових та літніх канікул та відпусток, коли обсяги пасажироперевезень помітно знижуються.

Також на рис.2.10 наведено результати прогнозування річного пасажироперевезення маршрутом №25 на 2019 рік методом LSTM (штрихпунктирна крива, рис.2.10). В результаті порівняльного аналізу експериментально-отриманих та прогнозованих даних бачимо високу збіжність між ними, що доводить доцільність використання методів прогнозування для визначення оптимального пасажиропотоку міським транспортом.

Аналогічні графіки порівняння прогнозованих значень з експериментальними статистичними даними за 2019 рік за іншими пасажирськими маршрутами м.Черкаси наведено в Додатку Б.

Проведемо порівняння точності прогнозування методами Бокса-Дженкінса, авторегресивної моделі порядку  $p$ , рекурентної нейронної мережі та методу LSTM, що використовувалися для прогнозування пасажиропотоку по маршруту №25 м. Черкаси. Порівнявши прогнозні значення, отримані

даними методами з фактичними даними, отримано такі показники точності прогнозу, табл.2.5.

Таблиця 2.5.

Показники точності прогнозування окремими методами прогнозування

Метод	Точність прогнозу*, ум.од.
Бокса-Дженкінса	0,961
Авторегресивної моделі порядку $p$	0,933
Рекурентна нейронна мережа	0,930
Довга короткочасна пам'ять (LSTM)	0,983

\*) «1» відповідає максимальній збіжності результатів (100%), «0» – абсолютна розбіжність в результатах

Як видно з табл.2.5, при використанні методу LSTM згідно запропонованої моделі точність прогнозування пасажироперевезень збільшується на декілька відсотків, що дає можливість перевізникові зменшити витрати на паливо та покращити обслуговування для пасажирів завдяки обранню кращого розкладу та маршруту.

В результаті порівняння методів прогнозування пасажиропотоку основних маршрутів м.Черкаси на 2019 рік (табл.2.5) встановлено, що при дослідженні результатів порівняння фактичних та прогнозованих поїздок після 10 та 30 етапів навчання на наборі експериментальних даних для рекурентної нейронної мережі LSTM, точність прогнозу досягає 0,983, що є найбільш точним результатом серед розглянутих методів прогнозування.

Таким чином, проведено оцінювання та вибір серед відомих методів прогнозування пасажиропотоку та програмних систем для управління громадськими автотранспортними підприємствами. Розглянуто проблеми, що виникають при керуванні автотранспортними підприємствами та способи їх вирішення. Наведені результати прогнозування окремими методами, які доцільно застосувати для вирішення сформульованої задачі.

Встановлено, що при використанні рекурентних нейронних мереж проводиться менша кількість циклів попередньої обробки даних у порівнянні з іншими методами прогнозування. Це пов'язано зі здатністю таких мереж самостійно знаходити необхідні фільтри, тоді як в традиційних алгоритмах такі фільтри підбираються вручну. Також використання RNN виключає суб'єктивний вплив апріорних знань та людини на процес прогнозування.

Обґрунтовано вибір, розроблено структурну схему та описано рекурентну нейронну мережу LSTM для прогнозування пасажиропотоку, який і пропонується використовувати в подальшому при прогнозуванні найбільш раціональних маршрутів для забезпечення їх максимальної завантаженості пасажирами.

### 2.3. Розроблення динамічної моделі вибору маршруту пасажироперевезень міським транспортом

В основі багатьох методів дослідження і моделювання систем знаходяться теорії нечіткої логіки і нечітких множин, які відносяться до основ створення штучного інтелекту. Реалізовуватися процес нечіткого моделювання для задачі вибору найбільш раціонального маршруту при громадських пасажироперевезеннях буде в математичному процесорі MatLab за допомогою застосування спеціалізованого додатку Fuzzy Logic Toolbox [127, 128].

В процесі розроблення моделі вибору маршруту пасажироперевезень та її подальшого застосування використовуються такі графо-аналітичні засоби, що входять у додаток нечіткого виведення Fuzzy Logic Toolbox [127, 128]:

- редактор системи (FIS-редактор);
- редактор функцій належності (Membership Function Editor - MFE);
- редактор правил (Rule Editor - RE);
- програма перегляду правил (Rule Viewer - RV);

- програма перегляду поверхні (Surface Viewer - SV).

Редактор FIS є основним засобом, що дозволяє створювати та редагувати на високому рівні системи нечіткого виведення у графічному режимі, а також їх властивості (кількість вхідних/вихідних параметрів, тип системи нечіткого виведення, метод дефазифікації майбутньої моделі). Запускається редактор за допомогою функції *fuzzy*, що вводиться у командному рядку.

Раніше (у п.2.1) було обґрунтовано початкові (вхідні) параметри моделі вибору пасажирями маршруту пересування. Серед цих параметрів основними є час доставки пасажирів (T), середній інтервал руху транспортного засобу по маршруту (I) та середня наповненість його салону (N). За результуючий (вихідний) параметр (з позицій потенційних пасажирів) обрано коефіцієнт привабливості маршруту (P).

У розробленій динамічній моделі використовується механізм нечіткого виведення за Мамдані та центроїдний метод дефазифікації [129]. Спочатку уся вищенаведена інформація про початкові параметри моделі вводиться у редакторі FIS. Вікно графічного інтерфейсу FIS із введеними заданими початковими параметрами моделі зображено на рис. 2.11.

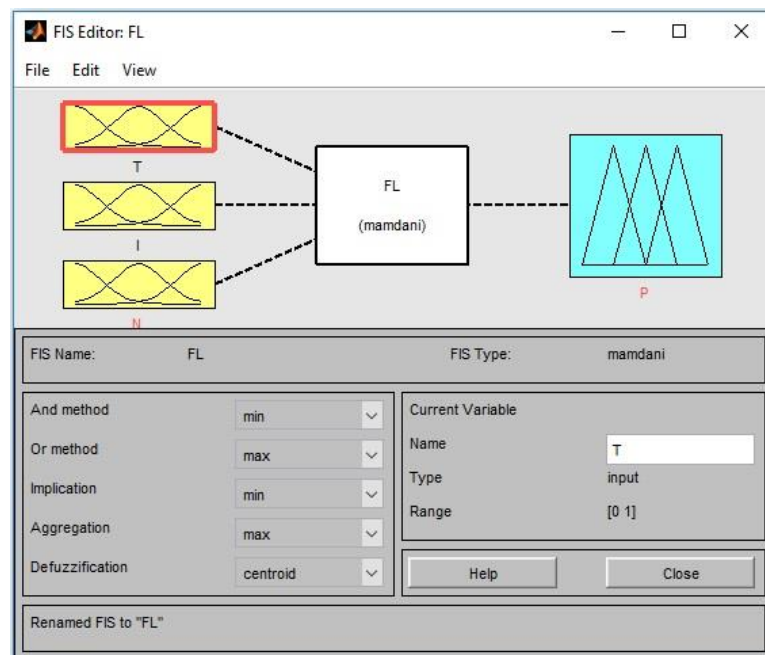


Рис.2.11. Вигляд графічного інтерфейсу редактора FIS із заданими початковими значеннями параметрів моделі вибору раціонального маршруту



Редактор FIS дозволяє запускати усі інші програми перегляду систем нечіткого виведення.

Основне призначення редактору MFE функції належності систем нечіткого виведення полягає у заданні та редагуванні функції належності окремих параметрів системи нечіткого виведення у графічному режимі. Для кожної функції належності можна змінити її ім'я, тип і параметри. Редактор дозволяє користувачу не лише обрати будь-яку із 11 вбудованих функцій належності, але і створити свою.

Попередніми дослідженнями для кожного із параметрів моделі визначено інтервали допустимих значень: для вхідного сигналу часу доїзду до пункту призначення на маршруті (T) інтервал [27; 96] позначимо у хвиликах; для середнього інтервалу руху на маршруті (I) [5; 135] – у хвиликах, для наповненості транспортного засобу (N [0;100] ) – у відсотках, для привабливості маршруту (P) – [0; 5] у балах. Кожен визначений таким чином інтервал поділено на області S (small – мала), M (middle – середня), B (big – велика). Кожна функція належності вхідних сигналів має трапецієвидну форму. Функція належності вихідного сигналу (привабливість) описується кривою Гаусса.

Розглянемо докладніше особливість створення функції належності на прикладі вхідного параметру – загального часу доїзду до пункту призначення (T). Нехай максимальне значення часу доїзду позначимо за 1, тоді середнє значення часу доїзду відповідно  $0,5 \cdot T_{\max} - 0,5$ . У вікні *Range* вводиться діапазон зміни параметру [0; 1]. У вікні *Type* обирається бажаний тип функції належності (у даному разі *trimf*). У полі *Membership function plots* обирають відповідну функцію належності. Аналогічні дії виконуються і для трьох інших параметрів моделі. Інтерфейс редактора функції належності вхідного параметру загального часу доїзду має такий вигляд (рис. 2.12).

Редактор правил системи нечіткого виведення RE, який запускається командою *Edit – Rules* з головного меню, застосовується для складання та редагування основних правил системи нечіткого виведення у графічному або

логічно-семантичному вигляді. Для застосування правила обираємо в меню відповідну комбінацію термів і натискаємо кнопку *Add Rule*.

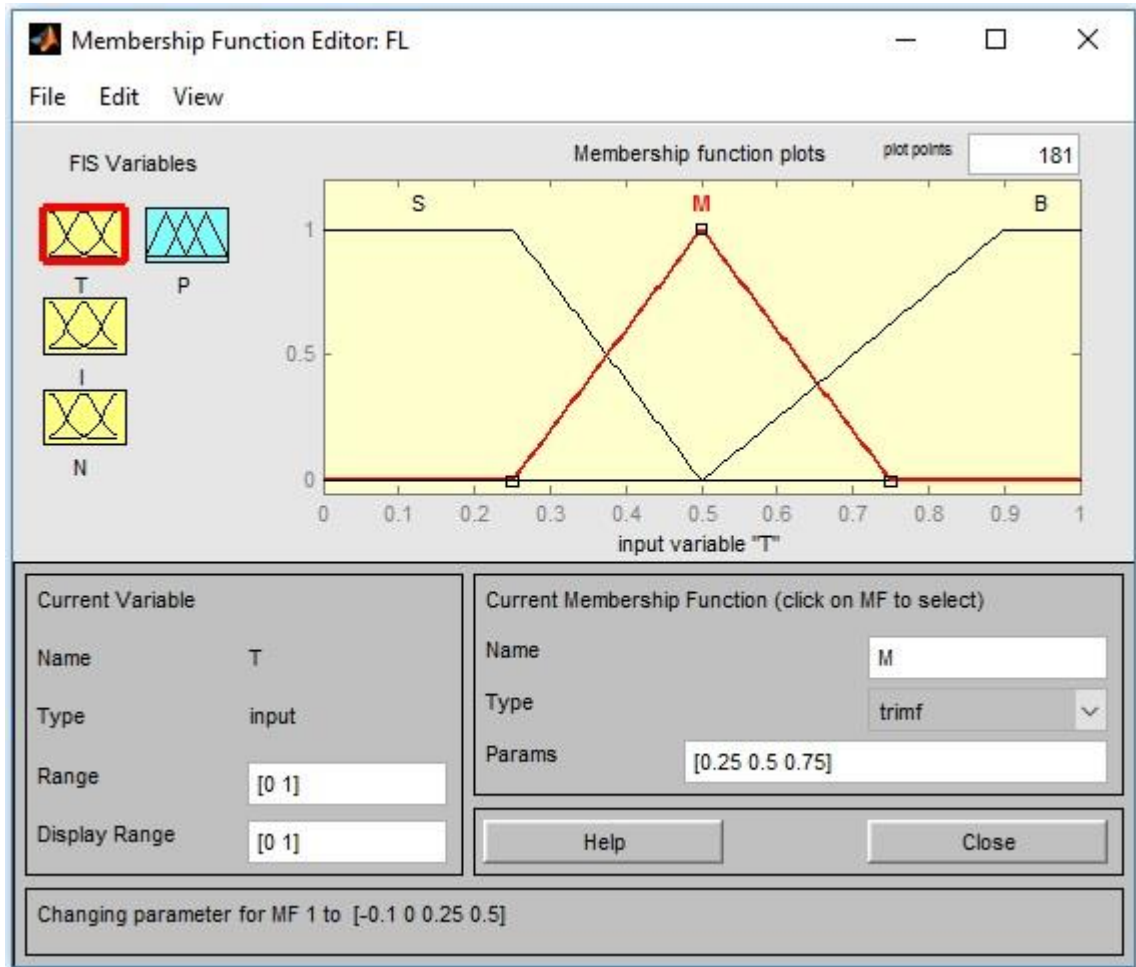


Рис.2.12. Вікно редактора функції належності вхідного параметру «час доїзду до пункту призначення»

Для прикладу розглянемо створення у програмному середовищі MATLAB правила типу: «Якщо загальний час доїзду до пункту призначення малий і середній інтервал руху малий та наповненість транспортного засобу мала, то привабливість маршруту велика». За допомогою назв відповідних термів та логічних операторів це правило записується так:

$$\text{IF (T is S) and (I is S) and (N is S) THEN (P is B)} \quad (2.15)$$

На рис. 2.13 зображено інтерфейс редактора бази правил після введення усіх 27 правил (в кінці кожного правила в дужках вказані їх вагові коефіцієнти).

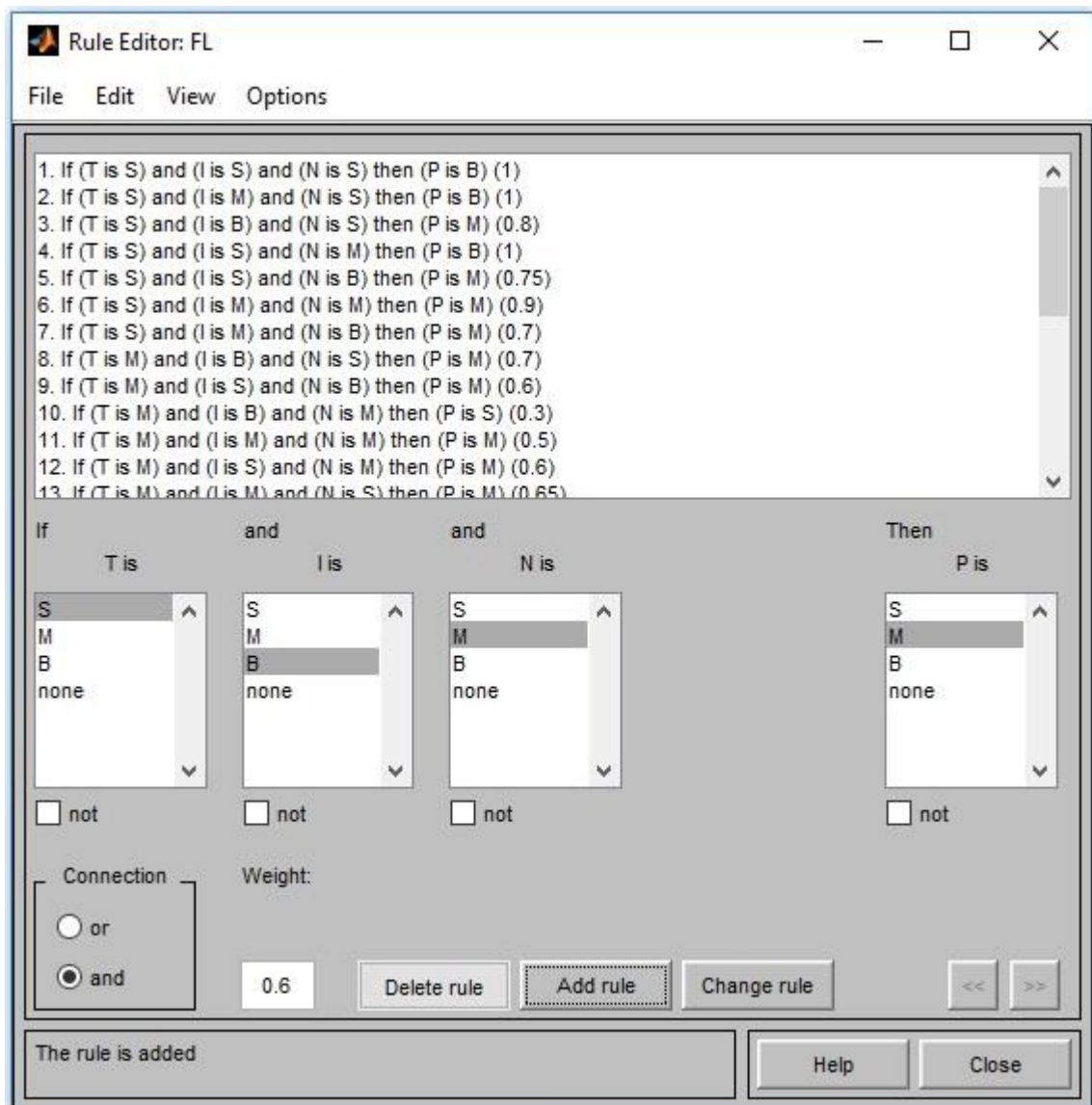


Рис.2.13. Нечітка база правил в *Rule Editor*

Головне застосування програми перегляду правил RV полягає у візуалізації результатів нечіткого виведення і отримання значень вихідних параметрів (у даному разі привабливості маршруту) залежно від початкових значень вхідних параметрів (загального часу доїзду, середнього інтервалу руху по маршруту та наповненості транспортного засобу). Програма викликається через редактор MFE або редактор RE командою *View – Rules*.

Програма RV використовується після розроблення системи нечіткого виведення на етапі її аналізу і оцінки, тому вона забороняє редагувати правила та функції належності. Результати програми доцільні при візуальному зображенні на усіх етапах моделювання процесу нечіткого

виведення. Шляхом зміни значень вхідних параметрів користувачу надається можливість оцінювання вихідних параметрів нечіткої моделі і вплив кожного з правил на результат нечіткого виведення. Вікно програми RV правил наведено на рис. 2.14.

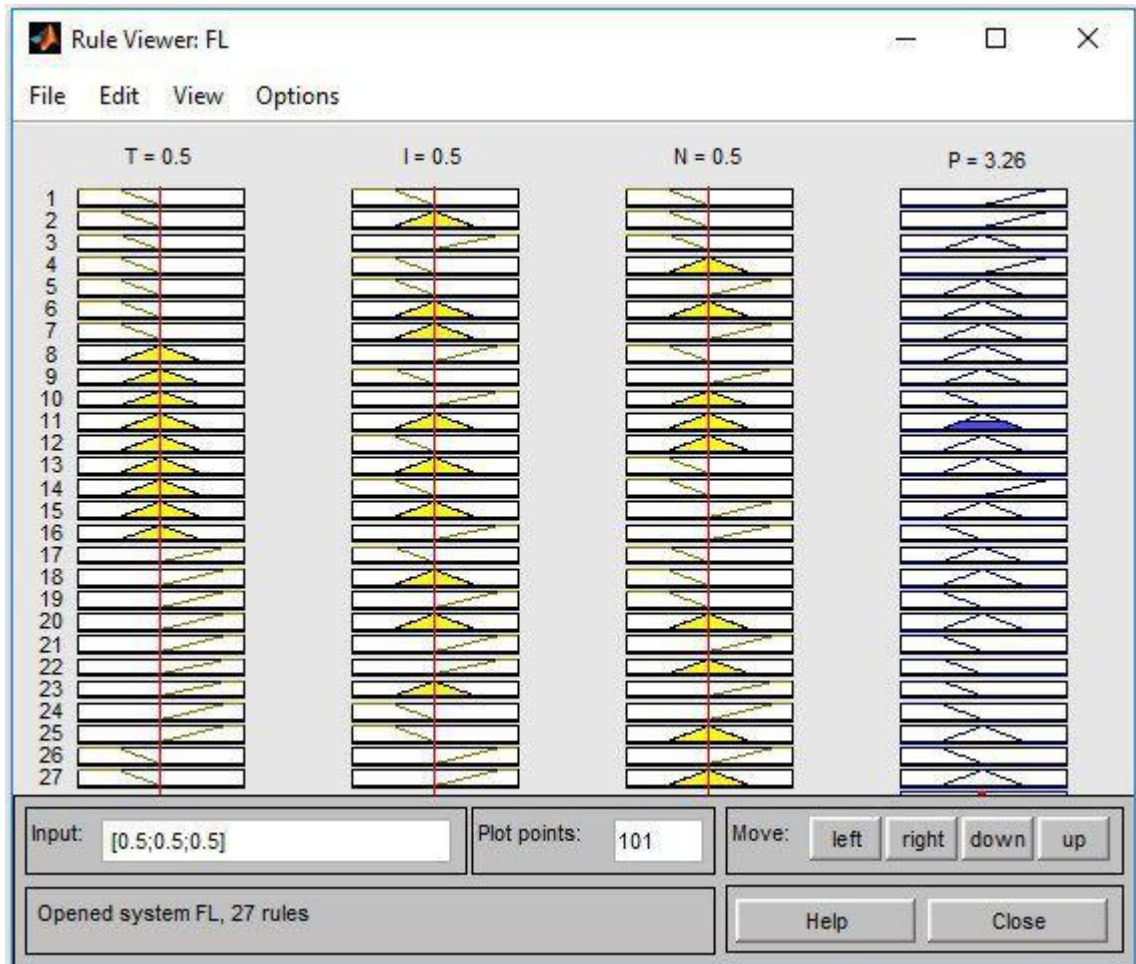


Рис.2.14. Вікно програми перегляду правил системи нечіткого виведення

По центру графічного вікна RV розміщені прямокутники, що відповідають де-яким вхідним (функції належності світлого кольору) і вихідним параметрам (функція належності темного кольору) правил нечіткого виведення. Кожному правилу відповідає певний рядок із цих прямокутників. Отримані в результаті дефазифікації значення вихідного параметра вказується у верхній частині стовпця з іменем цього вихідного

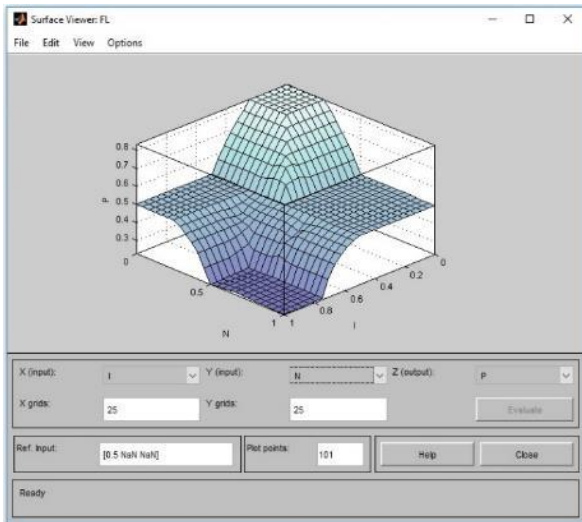
параметра. Прямокутники вхідних параметрів пересікає вертикальна пряма, що відповідає певному значенню вхідного параметру відповідного стовпця. Лінію можна переміщувати, змінюючи при цьому значення параметрів. На рис. 2.14 зображено ситуацію, коли загальний час доїзду до пункту призначення становить  $0,5 \cdot T_{max}$ , середній інтервал на маршруті –  $0,5 \cdot I_{max}$ , наповненість транспортного засобу – 50%. Звідси отримується значення вихідного параметру – привабливості маршруту, що становить 3,26 бали.

Програма SV системи нечіткого виведення (запускається командою меню *View – Surface*) дозволяє переглядати поверхню та побудувати трьохвимірні графіки залежності вихідного параметру від окремих вхідних. Користувач може обирати вхідні змінні та відповідні їм горизонтальні осі просторової системи координат (X; Y), вихідні змінні з вертикальною віссю Z, кут перегляду поверхні відгуку.

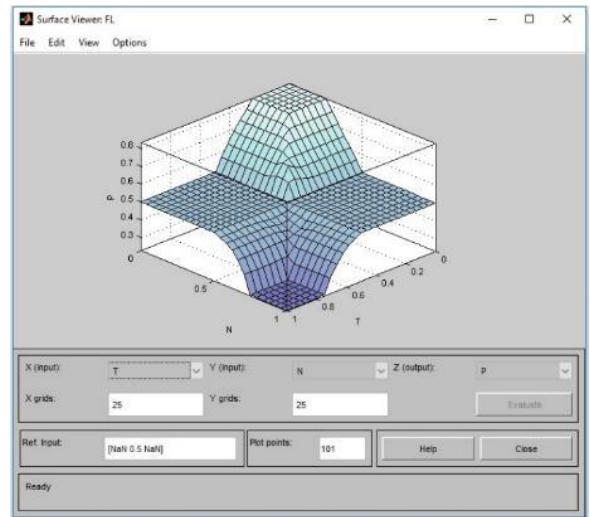
Скрін програми SV системи нечіткого виведення у залежності привабливості варіантів пересувань пасажирів від, наприклад, часу доїзду до пункту призначення та інтервалу руху транспортного засобу за фіксованого значення наповненості його салону наведено на рис.2.15.

Наведений розрахунковий підхід ефективний для складних нечітких динамічних моделей з великою кількістю параметрів та правил нечіткого виведення. В такому разі завдання параметрів та функцій належності їх термів у графічному режимі, а також візуалізація правил дозволяють значно знизити трудомісткість розроблення нечіткої моделі, кількість можливих помилок та загальну тривалість нечіткого моделювання.

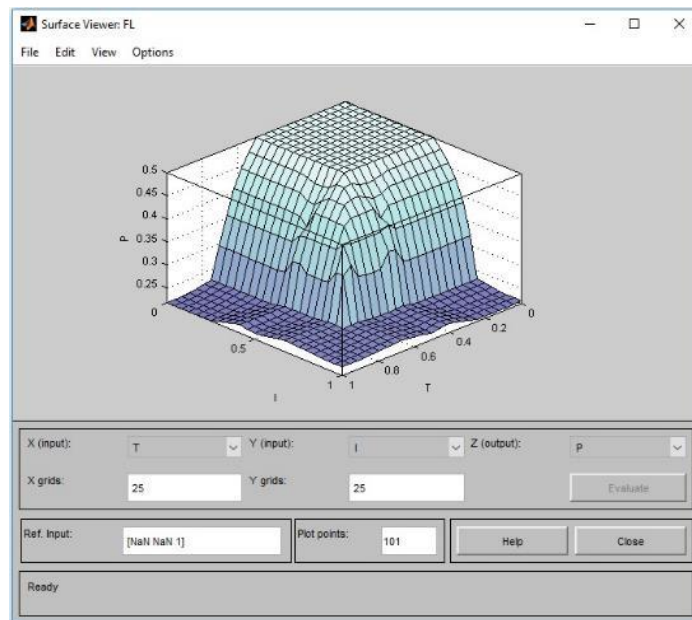
На етапі перевірки розробленої моделі досліджується розподіл потенційних пасажирів за маршрутами громадського транспорту при їх трансфері з Південно-Західного району (зупинка «ІІ мікрорайон») до центральної частини міста (зупинка «Дім торгівлі»), оскільки не всі пасажирів скористаються прямим (зворотним) маршрутом чи маршрутом з пересадкою.



а.



б.



в.

Рис.2.15. Приклад поверхні відгуку у залежності від рівня привабливості транспортного засобу: а – при середньому інтервалі руху та загальному часі доїзду до пункту призначення; б – при наповненості салону транспортного засобу та загального часу доїзду до пункту призначення; в – при наповненості та середньому інтервалі руху.

Де-хто надає перевагу меншому часу очікування транспорту на зупинці, інший комфортніший (у даному випадку з меншою наповненістю салону транспортного засобу), ще хтось скористається маршрутом, що

швидше прибуде до пункту призначення. Для цього в моделі і використовується теорія нечіткої логіки.

Виходячи з даних п.2.1 розглянутий шлях (зупинка «ІІ мікрорайон» - зупинка «Дім торгівлі») по місту Черкаси обслуговує ряд маршрутів пасажирського транспорту із такими характеристиками:

- автобусний маршрут №20: час доїзду,  $T = 26$  хв, інтервал руху між транспортними засобами,  $I = 7$  хв., наповненість салону автобуса,  $N = 70\%$ ;
- автобусний маршрут №25: час доїзду,  $T = 33$  хв, інтервал руху між транспортними засобами,  $I = 8$  хв., наповненість салону автобуса,  $N = 85\%$ ;
- тролейбусний маршрут №8: час доїзду,  $T = 38$  хв, інтервал руху між транспортними засобами,  $I = 135$  хв., наповненість салону автобуса,  $N = 90\%$ ;
- тролейбусний маршрут №10: час доїзду,  $T = 32$  хв, інтервал руху між транспортними засобами,  $I = 11$  хв., наповненість салону автобуса,  $N = 75\%$ .

Використовуючи розроблену динамічну модель визначення привабливості маршруту, розраховано привабливість для усіх прямих та зворотних варіантів маршрутів, а також маршрутів із пересадками (табл. 2.6) між зупинками «ІІ мікрорайон» - «Дім торгівлі». Зазначимо, що для маршрутів із пересадками також збільшується небезпека для пасажирів та вартість проїзду, яка розраховується як сума вартості на маршруті до та після пересадки, а також інтервал руху та наповненість салону транспортного засобу, як максимальний інтервал руху та наповненість салону на маршрутах.

Далі визначаються обсяги пасажиропотоків між пунктами призначення для прямих та зворотних маршрутів і маршрутів із пересадками. Так, пасажиропотоки за прямими маршрутами визначаються наступним чином:

- прямий маршрут:

обсяг відправлення – 125 ос.

варіанти маршрутів – А20, Тр8

привабливість маршрутів,  $P$ : А20 – 3,7 бали; Тр8 – 4,7 бали.

Таблиця 2.6

Визначення привабливості пасажирського транспорту на маршруті «ІІ мікрорайон» - «Дім торгівлі»

№ маршруту	Тип	Час доїзду, $T$ , хв.	Частка максимального часу доїзду, $T_{max}$	Інтервал руху, $I$ , хв.	Частка максимального інтервалу, $I_{max}$	Наповненість, %	Привабливість, балів
20 прямий	автобусний	26	0,33	7	0,05	70	3,7
25 зворотний	автобусний	33	0,42	8	0,06	85	4,5
8 прямий	тролейбусний	38	0,48	135	1,0	90	4,7
10 зворотний	тролейбусний	32	0,41	11	0,08	75	3,9
A115- A12	пересадка	70	1	36	0,26	95	4,9
Тр8- A12	пересадка	30	0,38	59	0,44	90	4,7

Кількість пасажирів, що скористаються маршрутами А20 та Тр8:

$$q_{A20} = \frac{125}{4,7+3,7} \cdot 3,7 = 55 \text{ осіб};$$

$$q_{Тр8} = \frac{125}{4,7+3,7} \cdot 4,7 = 70 \text{ осіб.}$$

- зворотний маршрут:

обсяг відправлення – 118 ос.



варіанти маршрутів – А25, Тр10

привабливість маршрутів,  $P$ : А25 – 4,5 балів; Тр10 – 3,9 бали.

Кількість пасажирів, що скористаються маршрутами А25 та Тр10:

$$q_{A25} = \frac{118}{4,5+3,9} \cdot 4,5 = 63 \text{ осіб};$$

$$q_{Тр10} = \frac{118}{4,5+3,9} \cdot 3,9 = 55 \text{ осіб.}$$

- пересадочний маршрут:

обсяг відправлення – 58 ос.

варіанти пересадок на маршруті – А115 – А12, Тр8 – А12

привабливість маршрутів,  $P$ : А115 – А12 – 4,9 балів; Тр8 – А12 – 4,7 бали.

Кількість пасажирів, що скористаються маршрутами А115 – А12 та Тр8 – А12:

$$q_{115-12} = \frac{58}{4,9+4,7} \cdot 4,9 = 30 \text{ осіб};$$

$$q_{8-12} = \frac{58}{4,9+4,7} \cdot 4,7 = 28 \text{ осіб.}$$

Як можна побачити із табл.2.6, рух за маршрутом «ІІ мікрорайон» - «Дім торгівлі» міським пасажирським транспортом (в залежності від того з пересадками чи без відбувався рух), можливий одним із шести варіантів доїзду.

Так, до пункту призначення можна добратися чотирма варіантами маршрутів без пересадок: двома прямими маршрутами (автобус №20, тролейбус №8) та двома зворотними (автобус №25, тролейбус №10). При цьому, більш привабливими є або прямий тролейбусний маршрут №8, або зворотній автобусний маршрут №25. Проте, враховуючи час доїзду та інтервал руху, більш привабливим є маршрут №25.

Що стосується маршрутів з пересадками – тут можливі два варіанти: автобусом №115 до зупинки «вул.Чорновола», далі автобусом №12 до зупинки «Дім торгівлі» або тролейбусом №8 до зупинки «Залізничний вокзал», далі автобусом №12 до зупинки «Дім торгівлі». Обидва пересадочних маршрути мають високу привабливість (відповідно, 4,9 та 4,7

бали), проте, враховуючи значний час доїзду та інтервал руху, використання цих маршрутів, як основних не є доречно.

За результатами розрахунків можна побудувати діаграму пасажиропотоків за розглянутими маршрутами між зупинками «ІІ мікрорайон» - «Дім торгівлі» (рис. 2.16).

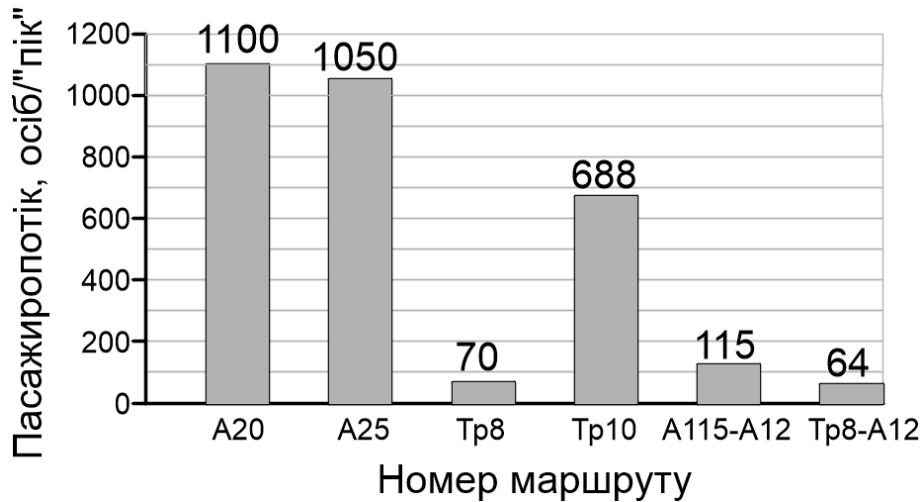


Рис.2.16. Пасажиропотоки на досліджуваних маршрутах за максимальний інтервал часу (135 хв): А – автобусні маршрути; Тр – тролейбусні маршрути

Отримано, що найбільш завантажений маршрут на ділянці «ІІ мікрорайон» - «Дім торгівлі» – автобусний маршрут №20, що перевозить у час «пік» з 7.00 до 9.15 год. 1100 пасажирів. Тоді за годину кількість перевезених пасажирів становить 489 осіб. Враховуючи те, що маршрут №20 обслуговує місто із інтервалом руху між транспортними засобами 7 хв., середня кількість перевезених пасажирів одним автобусом за оборотний рейс дорівнює 220 осіб/рейс.

Тоді для інших варіантів маршрутів середня кількість перевезених пасажирів за оборотний рейс дорівнює:

- автобусний маршрут №25 – 252 осіб/рейс;
- тролейбусний маршрут №8 – 280 осіб/рейс;
- тролейбусний маршрут №10 – 220 осіб/рейс.

- пересадка автобус. маршрут №115 – автобусний маршрут №12 – 180 осіб/рейс;
- пересадка тролейбусний маршрут №8 – автобус. маршрут №12 – 113 осіб/рейс.

На основі отриманих даних пасажиропотоків за маршрутами, можна коректувати графік руху транспортних засобів на маршруті залежно від попиту потенційних пасажирів на нього. Наприклад, зменшення інтервалу руху призведе до зменшення наповненості салону транспортного засобу та зменшення ймовірності відмови у посадці. Цього можна досягнути і за допомогою випуску на маршрут автобусів більшої пасажиромісткості.

Таким чином, у програмному середовищі MatLab, створено нечітку динамічну модель вибору варіанта маршруту з кількох запропонованих з урахуванням привабливості прямих маршрутів та маршрутів із пересадками, а також вимог безпеки та економічних інтересів усіх учасників руху.

Розроблену модель протестовано на прикладі міського маршруту на ділянці «ІІ мікрорайон» - «Дім торгівлі», яку обслуговують шість маршрутів (по два: прямі, зворотні та пересадочні) пасажирського транспорту. За результатами моделі побудована діаграма пасажиропотоків за маршрутами.

#### 2.4. Удосконалення логістичної системи управління міським пасажирським транспортом

З логістичної точки зору, пасажирські транспортні підприємства, що спеціалізуються на пасажироперевезеннях є досить специфічними суб'єктами управління, які характеризуються наступними особливостями [130]:

- процес пасажироперевезення відбувається за межами території транспортного підприємства, чим підвищуються вимоги до контролю за роботою транспортного засобу;
- процес пасажироперевезення має високу соціально-економічну значимість;

- необхідність перевезення пасажирів залежить від ряду стохастичних зовнішніх факторів, що збільшує вплив диспетчерського управління;
- пасажирські транспортні засоби є джерелами підвищеної небезпеки, тому необхідність забезпечення безпеки пасажироперевезень є незаперечною і має першочергову перевагу над економічними інтересами перевізників.

Зовнішнє середовище системи управління пасажироперевезеннями формується такими факторами: площа міста, чисельність місцях та гостей міста, їх рухливість, містобудівна політика, перелік і спрямованість виробничих підприємств, сезонність тощо.

Усі ці фактори поділяються на:

- контрольовані або неконтрольовані з боку системи керування пасажирськими перевезеннями;
- довготривалої або сезонної дії;
- по-добове або по-годинне коливання частоти коливання пасажиропотоків.

Такі фактори мають обов'язково враховуватися адміністрацією автотранспортного підприємства для вдосконалення пасажироперевезень.

Ринок громадських пасажироперевезень характеризується високою прибутковістю та динамічністю, в результаті чого його можна охарактеризувати як високо конкурентним, особливо у невеликих містах, де недостатньо високий рівень життя населення не дозволяє користуватися послугами таксі чи власним авто.

Зростання кількості перевізників (у тому числі і приватних) вимагає від транспортних підприємств залучення додаткових резервів для врахування розгалужених багатопотокових транспортних процесів і систем в межах міст, які побудовані на базі сучасних інформаційно-комп'ютерних технологій; покращення якості перевезень, безпеки та зниження вартості. Логістика та її принципи, що лежать в основі діяльності кожної організації, надають останній значні конкурентні переваги, а її впровадження в процес організації пасажироперевезень надасть громадському транспортному підприємству

значні переваги: зниження витрат і вартості послуг, покращення якості обслуговування, тощо.

Поліпшення логістичної системи підприємства полягає у скороченні витрат. Проте, якщо підприємство робить це самостійно і в одній з підсистем, то виникає ризик погіршення загальної ситуації, що в кінцевому рахунку призведе до скорочення витрат в одній підсистемі і зростання їх в іншій.

Поліпшення логістичної системи управління міським пасажирським транспортом, що відбувається в даному науковому дослідженні є комплексним і відрізняється тим, що на першому етапі проводиться аудит логістики автотранспортного підприємства і виявляються зони і області приросту ефективності, визначаються показники та встановлюється частка тих удосконалень, які будуть досягнуті.

На другому етапі розробляється і впроваджується комплекс організаційних, технічних, технологічних, методологічних та інформаційних рішень. На практиці це дає підприємствам скорочення логістичних витрат на величину від 10%.

Так, загальну схему поліпшення логістичної системи управління пасажирським транспортом можна представити таким чином (рис.2.17)

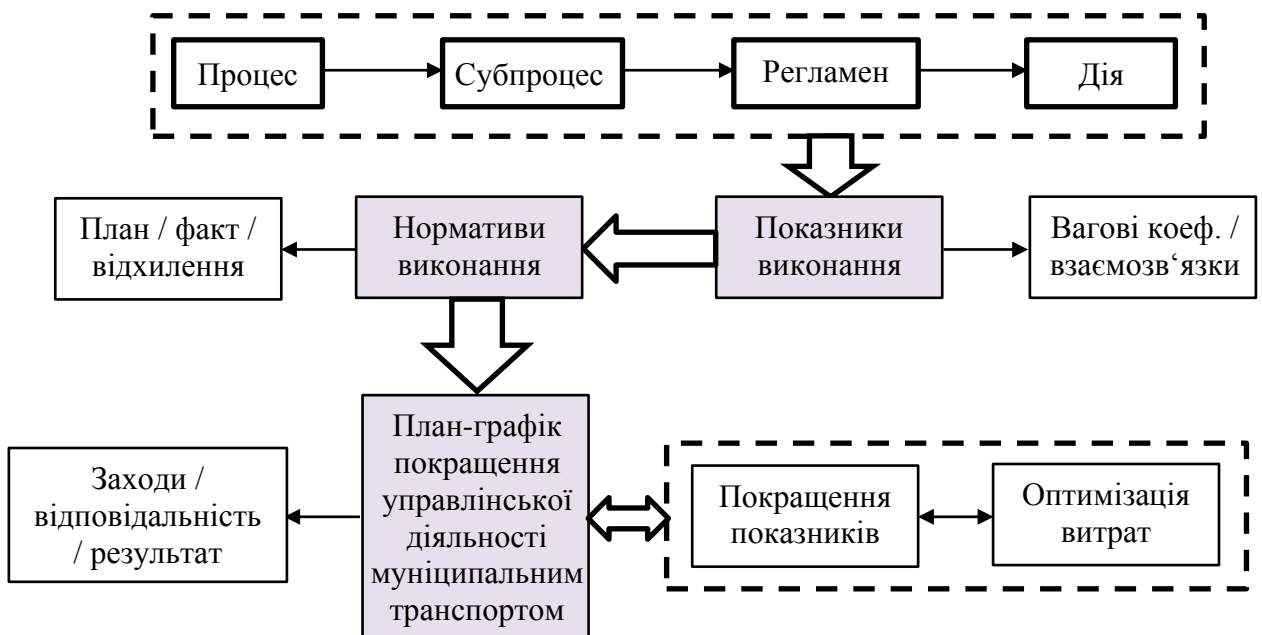


Рис.2.17. Загальна схема поліпшень логістичної системи управління пасажирським транспортом

За результатами оцінки логістичного підходу на автотранспортному підприємстві розглянемо шляхи поліпшення цих процесів та оцінимо їх економічну ефективність.

*Розробка заходів щодо вдосконалення роботи підприємства з пасажирських перевезень.* З метою поліпшення управління пасажирським транспортом і організації управління пасажирськими перевезеннями, розглянемо заходи, спрямовані на усунення цих проблем шляхом застосування логістичного підходу і складемо схему логістичної системи.

*Застосування інтегрованого підходу в управлінні на підприємстві.* Досягнення стратегічних цілей транспортних підприємств можливе за умов переходу від існуючих логістичних систем до інтегрованих логістичних мереж. При цьому, робота транспортних підприємств в складі таких мереж визначає ряд переваг: зменшення числа коливань системи, значне зниження витрат, підвищення якості функціонування системи та інше.

Логістика спрямована на досягнення високої якості обслуговування споживачів ґрунтується на інтеграції ключових компетенцій, рис.2.18.



Рисунок 2.18 – Ключові компетентності інтегрованої логістичної системи

На схемі (рис.2.18) слід звернути увагу на таку компетентність, як «логістична інформація», що визначає найбільш важливий стратегічний ресурс логістики. Зниження витрат логістичної інформації здійснюється шляхом більш ефективного управління інформаційними потоками, збільшення їх швидкості та покращення координації, за умов використання сучасних інформаційно-комп'ютерних технологій. Інформаційні ресурси інтегрованої логістики представляються у вигляді своєрідного «дерева», що складається з 12 базових елементів (рис.2.19).

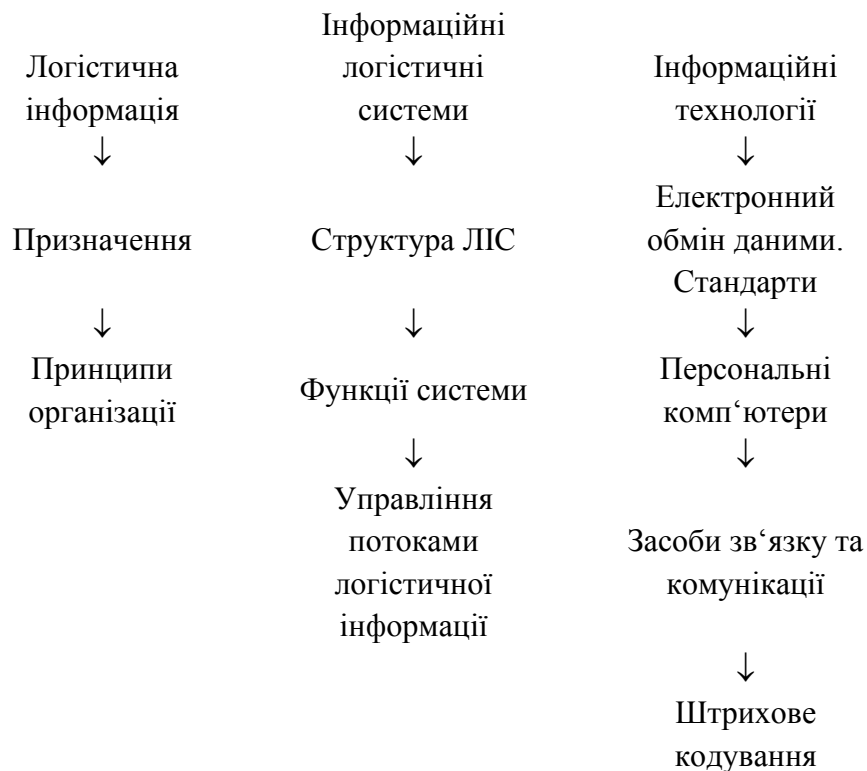


Рис.2.19. Інформаційні ресурси інтегрованої логістики

В якості інформаційної бази з метою вдосконалення логістичного підходу управління транспортним підприємством рекомендується впроваджувати сучасні телематичні рішення для управління як окремими засобами, так і транспортними парками вцілому.

Так, місцезнаходження транспорту та стан його ключових параметрів визначається через глобальну систему супутникової навігації NASA – Global positioning system (GPS). Інформація на пульта диспетчера передається по

різних каналах цифрового зв'язку GSM – через інтернет або за допомогою смс-повідомлень і відображається на електронній картографічній карті в режимі реального часу.

Основні можливості впровадження телематичних рішень управління транспортними підприємствами наведено на рис.2.20 [131].

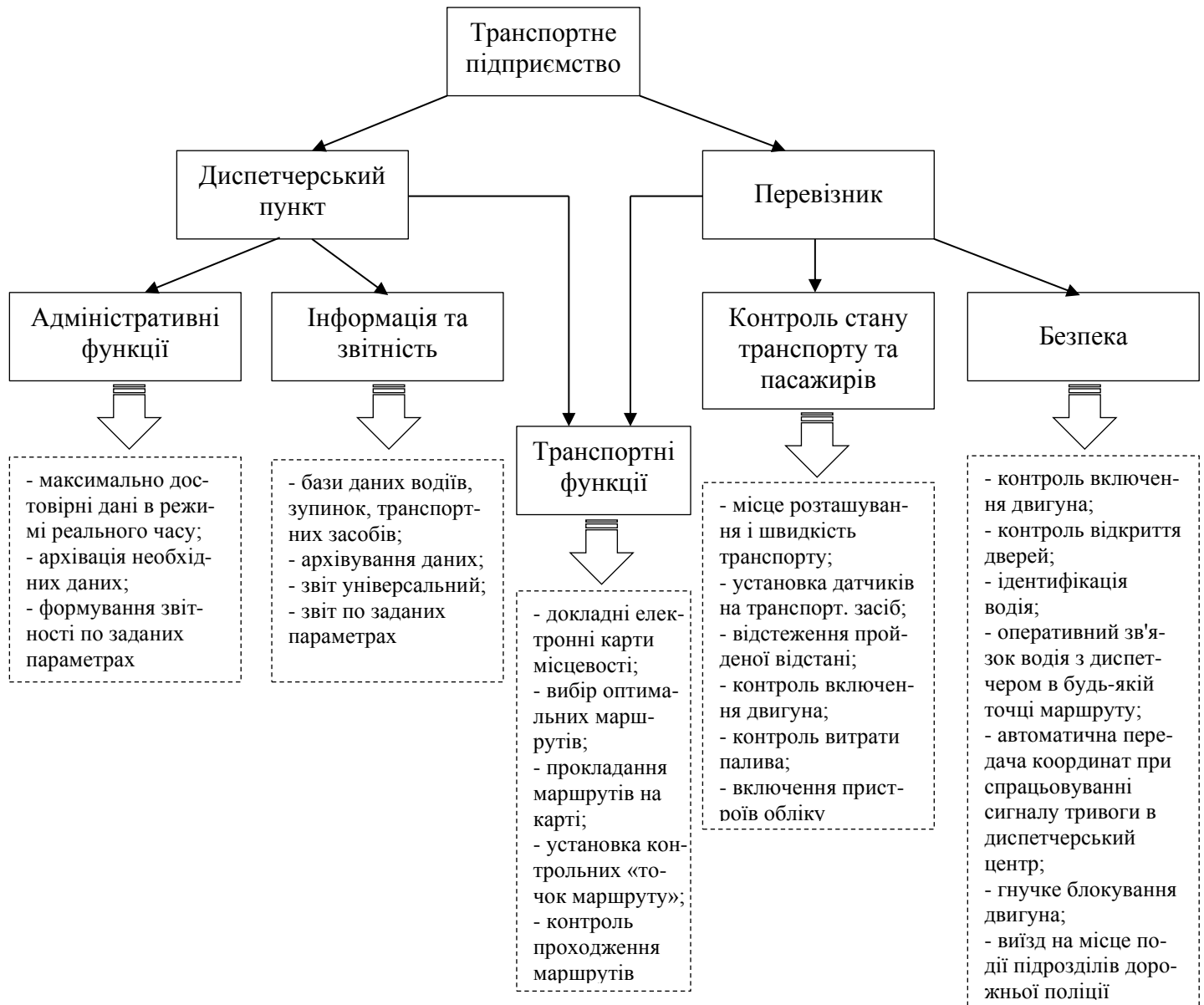


Рис.2.20. Логістична схема основних можливостей застосування телематичних рішень для управління транспортними підприємствами

*Диспетчеризація.* Диспетчерська служба – це відділ, який надає інформаційні послуги і виконує функцію координатора дій пасажирів і перевізника.



Головним завданням диспетчера є інформування перевізників про стан маршруту і необхідності його зміни в різних точках зони обслуговування. Чим більший потік інформації, яку передає диспетчер, тим зручніше перевізнику працювати з ним, оскільки підвищується ймовірність своєчасного коригування маршруту і графіка руху. Особливо наглядно це демонструється при розведенні розгалужених багатопотокових транспортних процесів і систем в межах міста. Відбувається оптимізація використання робочого часу перевізника за рахунок скорочення "порожнього" пробігу транспортного засобу. Складність роботи диспетчера полягає в необхідності узгодження потреб пасажирів у швидкій, безпечній і точній подачі транспорту та водія в максимальному заповненні салону.

Автоматизована система диспетчерського управління пасажироперевезеннями шляхом застосування сучасних інформаційно-комп'ютерних технологій дозволяє отримати наступні переваги [132]:

- контроль і виконання транспортних підприємств плану випуску транспорту на лінію;
- автоматизований розподіл транспорту на маршрути підвищеного попиту;
- складання звітних даних про показниках роботи водіїв, диспетчерів та транспортних підприємств.

Побудова моделі транспортного обслуговування ґрунтується на раціональних маршрутах перевезення і розкладах руху, тобто пошуку маршрутів перевезень. Пошук маршруту – це найбільш досконалий спосіб організації потоку, який має суттєвий вплив на ефективне використання пасажирського транспорту.

Як правило, самостійної, виділеної служби логістики на більшості автотранспортних підприємств не існує. Створення власної служби логістики вимагає від підприємства і його керівництва цілого комплексу рішень паралельно пов'язаних завдань. Таким чином, можна виділити наступні загальні рекомендації в рамках створення служби логістики та її ефективного функціонування на транспортному підприємстві.

В якості стратегічних заходів пропонуються наступні шляхи вдосконалення логістичної системи управління міськими пасажирськими перевезеннями:

- подальше вдосконалення диспетчерського управління роботою транспортної системи;
- випуск рухомого складу різної місткості і класу;
- зміна кількості рухомого складу в залежності від прогнозованого попиту;
- оперативна зміна тривалості та інтервалу руху на основі постійного моніторингу стану пасажироперевезень.

Проведене визначення оптимальних термінів руху транспортних засобів на прикладі міського автобусного маршруту №25 на ділянці зупинка «Другий мікрорайон» - зупинка «Будинок торгівлі» м. Черкаси.

Для цього складається мережевий графік, що відображає технологічний зв'язок і послідовність робіт (рис. 2.21).

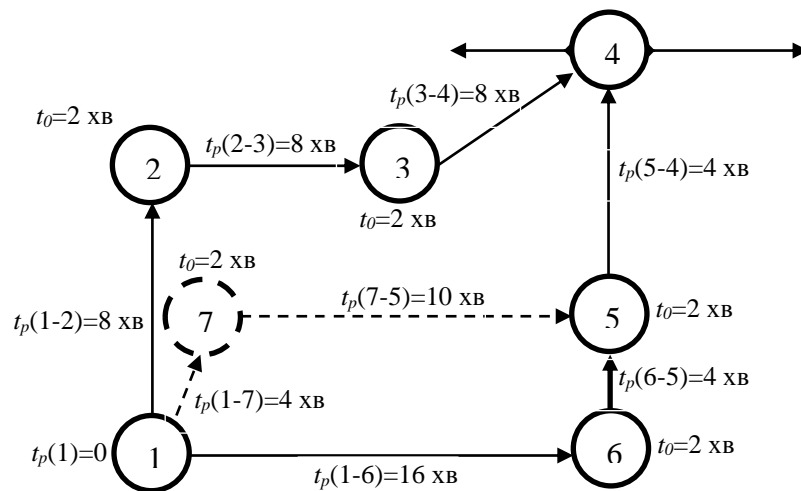


Рис.2.21. Мережевий графік логістичної системи управління міським транспортом по маршруту №25 на ділянці зупинка «Другий мікрорайон» - зупинка «Будинок торгівлі» м. Черкаси

Кожному вузлу відповідає певна подія, що полягає в закінченні кожного етапу робіт. Кожному «ребру» відповідає певна дія, що розуміється як процес, а не кінцевий результат.

Наприклад, «ребро» 0-1 визначає базовий маршрут і його зону дії, закінчується ця дія у вузлі 1. Для кожної зони дії задається тривалість, яка позначена на «ребрах» графіка в хвилинах.

Сенс графіку полягає у відображенні усіх транспортних зв'язків за маршрутом перевезення. У випадку пошуку альтернативного маршруту (що не існує на момент розрахунку) користуємося «фіктивним маршрутом» (на рис. 2.21 вони позначені пунктиром).

Розрахуємо для нашого прикладу тривалість можливих та альтернативних міських пасажирських маршрутів на ділянці зупинка «Другий мікрорайон» - зупинка «Будинок торгівлі», тобто всього циклу узгодженого графіка пасажироперевезень.

Для цього вводяться такі позначення:

$i, j$  – номери подій (подія  $i$  передуює події  $j$ );

$t(i - j)$  – тривалість виконання дії;

$t_p(i), t_p(j)$  - найбільш ранній термін звершення подій  $i$  або  $j$ ;

$t_n(i), t_n(j)$  - найпізніший термін звершення подій  $i$  або  $j$ .

Термін звершення будь-якої  $j$ -тої події можна визначити за максимальним значенням суми самого раннього терміну звершення попередньої події та її тривалості:

$$t_p(j) = \max \{t_p(i) + t(i - j)\}. \quad (2.8)$$

Очевидними будуть два напрямки: 1-2-3-4 та 1-6-5-4. Обидва маршрути сходяться в пункті 4.

При розрахунках за напрямком 1-2-3-4 приймаємо, що найбільш ранній термін звершення початкової події дорівнює нулю, тобто  $t_p(1) = 0$ . Тоді:

$$t_p(1-2) = t_p(1) + t(1-2) = 0 + 8 = 8 \text{ хв.}$$

Для другої події попередньою є подія  $t_p(1-2)$ . Її термін звершення визначається так:

$$t_p(1-3) = \max(t_p(1) + t(1-2) + t_0 + t(2-3)) = 0 + 8 + 2 + 8 = 18 \text{ хв.}$$

Аналогічно, для третьої події:

$$t_p(1-4) = \max(t_p(1) + t(1-2) + t_0 + t(2-3) + t_0 + t(3-4)) = 8 + 2 + 8 + 2 + 8 = 28 \text{ хв.}$$

Тут,  $t_0$  - час простою транспортного засобу на проміжних зупинках.

Розрахунок за напрямком 1-6-5-4 проводиться аналогічним чином:

$$t'_p(1-4) = \max(t_p(1) + t(1-6) + t_0 + t(6-5) + t_0 + t(5-4)) = 16 + 2 + 4 + 2 + 4 = 28 \text{ хв.}$$

Як видно з попередніх розрахунків, витрати часу за обома напрямками (1-2-3-4 та 1-6-5-4) однакові – 28 хв.

З огляду на витрати часу на альтернативний маршрут 1-7-5-4, отримаємо найбільш раціональний маршрут, що дорівнює:

$$t''_p(1-4) = \max(t_p(1) + t(1-7) + t_0 + t(7-5) + t_0 + t(5-4)) = 4 + 2 + 10 + 2 + 4 = 22 \text{ хв}$$

Реалізація усіх заходів, описаних раніше, вимагає від транспортного підприємства великих фінансових вкладень, що вимагає оцінки їх ефективності та повернення. Тому далі визначимо економічну ефективність цих заходів.

*Економічна ефективність запропонованих заходів.* Розглянемо зміну техніко-експлуатаційних показників діяльності підприємств за умови реалізації заходів, тобто застосування альтернативного маршруту 1-7-5-4 (табл. 2.7).

При оцінці економічної ефективності обов'язково враховується культура обслуговування пасажирів:

$$K = 1/Pж, \quad (2.9)$$

де  $Pж$  – кількість скарг, що надійшли від пасажирів.

Значення даного показника за результатами оцінки 2018 становить 0,04. Показник на 2019 рік на початковому етапі реалізації заходів - 0,20.

Для подальшої оцінки запропонованих заходів оцінимо витрати на їх реалізацію та їх ефективність за допомогою індексу рентабельності проекту.

*Знаходження індексу рентабельності маршруту (Profitability Index – PI).* Індекс рентабельності маршруту характеризує ефективність вкладень – чим більше його значення, тим вища віддача кожної вкладеної гривні.

Таблиця 2.7

Зміна техніко-експлуатаційних показників на прикладі застосування альтернативного маршруту в напрямку 1-7-5-4

Найменування показника	Нормативне значення	Рух маршруту за напрямом зупинка «Другий мікрорайон» - зупинка «Будинок торгівлі»	
		До впровадження (напрямок 1-2-3-4)	Після впровадження (напрямок 1-7-5-4)
Кількість пасажиромісць в муніципальному транспорті на 1000 жителів	1,28 – 1,52	3,7	2,24
Щільність розміщення зупинок на 1 км	0,87	0,45	0,48
Витрати часу на рейс, хв	27 – 34	53	27,6
Дальність маршруту, км	6,7 – 8,0	12,06	7,3
Коефіцієнт культури обслуговування пасажирів	0,75 – 0,85	0,04	0,20

Показник  $PI$  розраховують так:

$$PI = \frac{PV}{I_0} ; \quad PI = \sum_t \frac{CF_t}{(1+r)^t} / IC . \quad (2.10)$$

Можливі три варіанти значень цього показника:

- $PI > 1$  – норма рентабельності перевищує вкладені інвестиції: маршрут слід прийняти;
- $PI < 1$  – маршрут не забезпечує належного рівня рентабельності: маршрут слід відкинути;
- $PI = 1$  – інвестиції не приносять доходу: маршрут ні прибутковий, ні збитковий.

У даному випадку:

$PI = ПСНak / 1,25cI = 2150000 \cdot 5 \cdot 0,75 \cdot 2,24 \cdot 15 / 1,25 \cdot 27,6 \cdot 1588000 = 7,91$ ,  
де  $П$  – річний пасажиропотік (див. рис.2.10,  $C = 2150000$  осіб);  $Н$  – середня наповненість салону, (див. табл.2.4,  $H = 0,75$ );  $C = 5$  грн – вартість проїзду;  $k = 15$  годин – робоча зміна;  $a$  – кількість пасажиромісць на 1000 жителів, (див. табл.2.7,  $a = 2,24$ );  $c$  – витрати часу на рейс, (див. табл.2.4,  $c = 27,6$  хв);

$I$  – розмір вкладених інвестицій (вартість нового автобуса «Богдан А069»),  
 $I = 1588000$  грн [133].

Оскільки показник  $PI = 7,91 > 1$ , отже маршрут 1-7-5-4 рентабельний. Більш того, навіть якщо розмір інвестицій буде кратним вартості семи нових автобусів ( $PI = 1,13 > 1$ ) – проект все одно залишиться рентабельним.

Таким чином, залучення теорії транспортної логістики в процес пасажироперевезення дозволяє усунути протиріччя між пасажирами, транспортними підприємствами і суспільством.

Збільшення кількості перевізників вимагає від автотранспортних підприємств використовувати найрізноманітніші методи для подальшого поліпшення якості перевезень, зниження їх вартості тощо. В цілому, принципи логістики, що покладено в організацію діяльності організації, надають їй значних переваг перед конкурентами. Тому, застосування логістичних підходів в діяльності автотранспортного підприємства надає останньому суттєві переваги в боротьбі за ринок і конкурентів, а також дозволяє знизити витрати та вартість послуг, покращує якість обслуговування, тощо.

Удосконалено логістичну систему управління міським пасажирським транспортом на прикладі м.Черкаси, яка відрізняється можливістю характеризувати розгалужені багатопотокові транспортні процеси і системи в межах міста та побудована на базі сучасних інформаційно-комп'ютерних технологій. Проведено розробку мережевого графіку логістичної системи на ділянці зупинка «Другий мікрорайон» - зупинка «Будинок торгівлі» за яким розраховано тривалість руху за двома основними та одним альтернативним маршрутами. Також розраховано індекс рентабельності за яким доведена доцільність використання удосконаленої логістичної системи управління міським пасажирським транспортом для пошуку альтернативних маршрутів, що є більш ефективними в порівнянні з дійсними.

## 2.5. Висновки по розділу 2

Визначено основні показники якості перевезень основними маршрутами міського пасажирського транспорту (на прикладі м.Черкаси), яку використовуються для визначення привабливості цих маршрутів. Показана нестабільність таких показників та доводиться необхідність їх стабілізації.

Складено структурну схему та розроблено нейронну мережу, яка базується на методі довгої короткострокової пам'яті (LSTM) і застосовується для прогнозування найбільш раціональних маршрутів при їх максимальній завантаженості пасажирями.

Розроблено та реалізовано у програмному середовищі MatLab нову нечітку динамічну модель гнучкого вибору варіанта маршруту з урахуванням привабливості прямих, зворотних маршрутів та маршрутів із пересадками, а також вимог безпеки та економічних інтересів усіх учасників руху. Проведено апробацію розробленої моделі на прикладі міського маршруту пасажирського транспорту на ділянці «ІІ мікрорайон» - «Дім торгівлі». За результатами моделі побудована діаграма пасажиропотоків за маршрутами.

Доведено, що застосування теорії транспортної логістики в пасажирських перевезеннях надає перевагу транспортному підприємству в розвитку ринку, веде до зниження витрат і вартості послуг, поліпшує якість обслуговування.

Вперше проведено удосконалення логістичної системи управління міським пасажирським транспортом, яка, на відміну від існуючих, характеризує розгалужені багатопотокові транспортні процеси і системи в межах міст та побудовані на базі сучасних інформаційно-комп'ютерних технологій, що дозволило: розробити мережевий графік цієї системи за яким розраховано тривалість руху за основними та альтернативними маршрутами; розраховано індекс рентабельності за яким доведена доцільність використання удосконаленої логістичної системи для пошуку альтернативних маршрутів – ефективніших за дійсні.

### РОЗДІЛ 3

## СТВОРЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Проблема об'єктивізації рішень по оптимізації та розвантаженні окремих маршрутів пасажироперевезень, а також необхідність прийняття найбільш правильних рішень в умовах стресових, аварійних та інших надзвичайних ситуацій, що приймаються керівниками та диспетчерами транспортних підприємств, зумовлюється відсутністю інформації про завантаженість існуючих та можливі альтернативні (в тому числі аварійні) маршрути, результатів аналізу небезпек, що виникають для пасажирів та перевізників, а також їх моделювання та прогнозування. Невизначеність методів досягнення максимальної ефективності перевезень пасажирським транспортом, плинність умов перевезення, нестабільність дотримання режимів та умов пасажироперевезень – є головними проблемами на усіх етапах життєвого циклу транспортного підприємства.

Систематизація завдань, вирішення яких веде до розв'язання питання автоматизації пасажироперевезень може бути здійснена шляхом алгоритмізації інтелектуальних методів та створення на їх основі системи підтримки прийняття рішень. В даному розділі проводиться розробка такої інтелектуальної системи та досліджуються характеристики її функціонування.

Відомо [134], що до складу будь-якої інтелектуальної системи входять три складові: логіка інтерфейсу, логіка додатку та логіка роботи з базою даних. Логіка інтерфейсу забезпечує комфортну взаємодію особи, що приймає рішення (ОПР), та системи підтримки прийняття рішень (СППР); логіка додатку реалізовує функції повного циклу обробки даних [135, 136]. Логіка роботи з базою даних (БД) забезпечує реєстрацію операцій обміну даними у режимі реального часу та поповнення цієї БД.



Враховуючи те, що в даному розділі наукових досліджень розроблюється інтелектуальна СППР, основним призначенням якої є прогнозування та своєчасна автоматична стабілізація надзвичайних (аварійних, стресових) ситуацій при громадському перевезенні пасажирів, необхідно провести її верифікацію. Тому планується провести експеримент, для чого визначаються етапи його проведення та наповнюється масив даних, частина якого отримується моделюванням шляхом урахування припущень експертів щодо розподілу значень цих даних [137 – 140].

### 3.1. Вибір методу групового прийняття рішення для математичного опису предметної області

В якості методу групового прийняття рішення для математичного опису предметної області обрано метод переваг.

Особливістю методу переваг є те, що він оснований на розподілі альтернатив за певними показниками експертною групою, кожен член якої проводить розподіл альтернатив за кожним показником окремо [137]. Безумовними перевагами даного методу, що визначає необхідність його застосування для математичного опису предметної області автоматизації безпечних пасажироперевезень є такі: висока ефективність та незалежність між експертами, що мають різні знання та досвід і є кожен з них фахівцями в певній вузькій області знань; відповідальність за прийняте рішення в різному ступені несуть усі експерти; більш широкі та демократичні комунікації, як між експертами, так і в зі сторонніми фахівцями. Такі переваги дають можливість використовувати метод переваг в СППР при здійсненні транспортних пасажирських перевезень [135].

В нашому випадку обиралися наступні вхідні данні:

- кількість експертів,  $M = 3$  (по одному фахівцю з таких напрямків: особливості функціонування пасажирської транспортної системи; розподіл різних соціальних груп населення за районами їх проживання та

інфраструктурних потреб; транспортна безпека пасажироперевезень в рамках міста);

- кількість груп альтернатив,  $N = 4$  (по маршрутам руху; по перевізникам; по завантаженості руху на транспортних маршрутах; по щільності розподілу населення за соціальними групами).

Порядок прийняття рішення на основі методу переваг полягає в наступному.

1. Кожний член експертної групи виконує розподіл альтернатив по певному  $i$ -му показнику. Альтернативі надається номер «1», якщо на думку експерта вона є найкращою за даним показником; номер «2» - для альтернативи, що менш краща і так далі. Обрані членами експертної групи оцінки ( $X_{ij}^*$ , де  $i = 1, \dots, M; j = 1, \dots, N$ ) вносяться до матриці розміром  $M \times N$  (табл.3.1), де  $M$  – кількість експертів,  $N$  – кількість альтернатив;  $K_n$  – показник розподілу;  $p$  – кількість показників.

Таблиця 3.1

Матриця оцінок

$K_n$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$
Експерт 1	1	3	2	4
Експерт 2	3	1	2	1
Експерт 3	2	3	1	4

2. Проводиться перетворення матриці (табл.3.1):

$$X_{ij} = N - X_{ij}^*, \quad (3.1)$$

де  $X_{ij}^*$  – оцінка поставлена членом експертної групи.

Перетворена матриця має вигляд, представлений в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Перетворена матриця оцінок

$K_n$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$
Експерт 1	3	1	2	0
Експерт 2	1	0	2	3
Експерт 3	2	1	3	0

3. Для перетвореної матриці оцінок обчислюються суми по  $n$ -му показнику для  $j$ -тої альтернативи:

$$C_j^n = \sum_{i=1}^M X_{ij}, \quad (3.2)$$

де  $j = 1, \dots, N$ .

4. Обраховується сумарна оцінка:

$$C = \sum_{i=1}^N C_j^n = 18. \quad (3.3)$$

Сумарна оцінка для кожного показника однакова, оскільки це сума рангів в діапазоні  $0 \dots (p - 1)$ .

5. Обраховується остаточна цінність  $j$ -тої альтернативи по  $n$ -му показнику:

$$V_j^n = \frac{C_j^n}{C}. \quad (3.4)$$

6. Сума добутків коефіцієнтів важливості кожного з показників на відповідні чисельні значення альтернатив:

$$W_{Aj} = \sum_{n=1}^p k^n V_j^n, \quad (3.5)$$

де  $W_{Aj}$  – загальна цінність  $j$ -тої альтернативи;  $p$  – кількість показників;  $k_n$  – ваговий коефіцієнт  $n$ -го показника;  $V_{nj}$  – цінність  $j$ -тої альтернативи по  $n$ -му показнику.

Результуюче рішення про обрання кращої альтернативи ґрунтується шляхом порівняння загальних цінностей альтернатив  $W_{Aj}$ . Альтернатива, що має більшу оцінку є найкращою.

Таким чином, провівши ранжування альтернатив за оцінками через порівняння  $W_{Aj}$  (табл.3.3) встановлено таке:

Таблиця 3.3

Результати розрахунків цінності альтернатив

$K_n$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$
$C^n$	6	2	7	3
$V^n$	0,33	0,11	0,39	0,17
$k^n$	0,21	0,13	0,5	0,16
$W_A$	6,93	1,43	19,50	2,72

- альтернатива, що враховує завантаженість руху транспортом по маршрутам – 19,5 бали або 65% (найкраща);
- альтернатива, що враховує маршрути руху пасажирського транспорту – 6,93 бали або 23%;
- альтернатива, що враховує щільність пасажирів за соціальними групами – 2,72 бали або 8%;
- альтернатива, що враховує перевізників – 1,43 бали або 4% (найгірша).

3.2. Розроблення функціональної структури модульної взаємодії в системі підтримки прийняття рішень для автоматизації управління пасажироперевезеннями

Система підтримки прийняття рішень призначена для роботи в автоматичному режимі при узгодженні з ОПР, у трьох режимах: оперативному, тактичному та стратегічному [135]. Рішення в оперативному режимі приймаються одразу після виконання певного циклу перевезень пасажирів транспортним підприємством. При роботі в тактичному режимі розраховуються моделі та здійснюється прогнозування на термін до одного року. Для стратегічного режиму роботи такий термін подовжується до п'яти років. Особливостями застосування СППР в даній науковій роботі є залучення режимів, які відрізняються при роботі в СППР насамперед використанням нових моделей із залученням методів, як нечіткої логіки, так і штучного інтелекту, а в якості методу для усіх випадків використовувався метод групового прийняття рішення (див. п.3.1).

Проектування СППР здійснюється із дотриманням певних принципів її функціонування [135], а саме:

- відкритості (передбачає можливість розширення системи шляхом додавання нових моделей до банку моделей, розширення бази даних та знань із врахуванням нових даних);

- масштабованості (допускається використання на ПК із різними операційними системами та конфігурацією);
- системності (моделювання та оптимізація здійснюється з використанням усіх можливих моделей, з яких за заданими показниками відбираються найкращі результати);
- інформаційної єдності (реалізується єдиний підхід до представлення даних на вході та на виході програмних модулів, що дозволяє використовувати їх спільно чи відокремлено);
- мобільності (СППР може бути перенесена на інший ПК або у іншу мережу без втрати певних функцій та даних).

Загальна структура розроблюваної СППР наведена на рис.3.1.

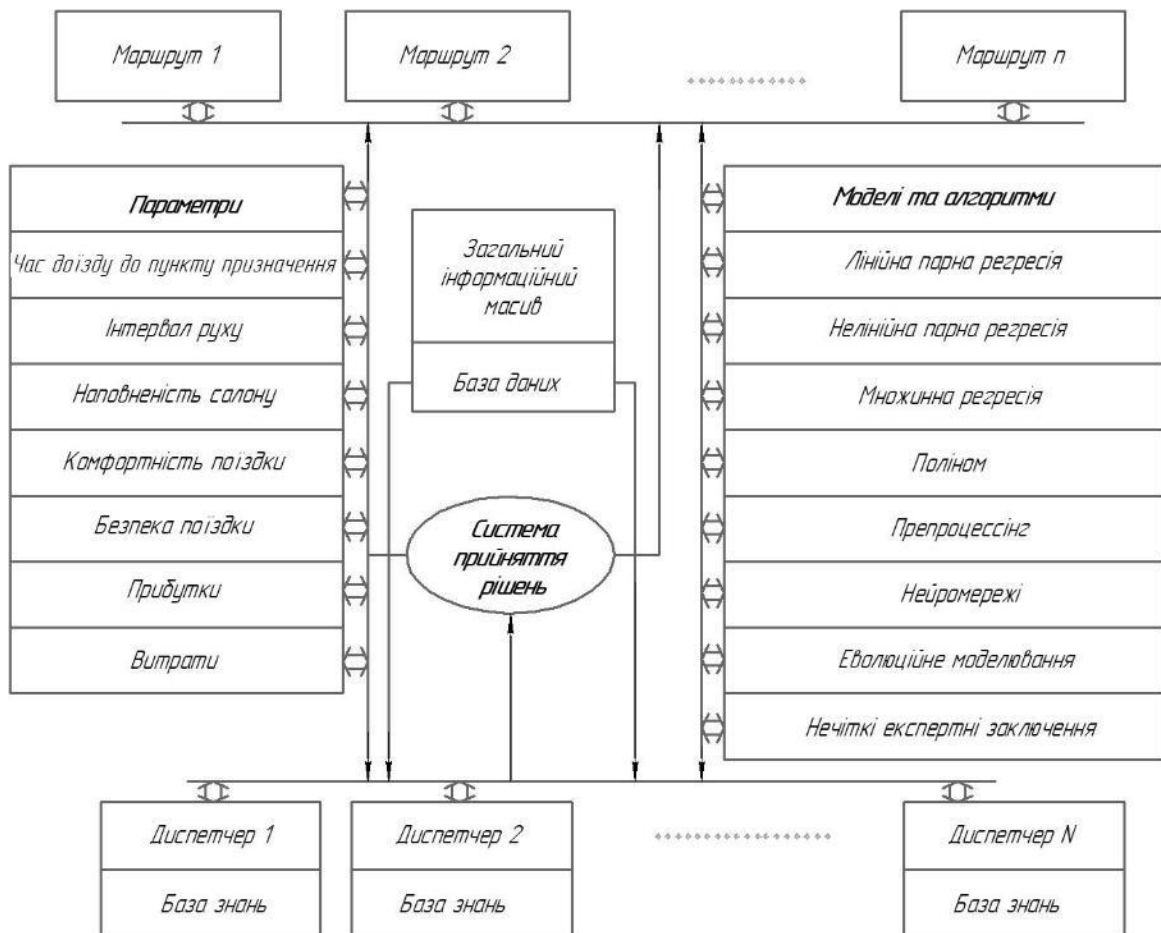


Рисунок 3.1 – Структурна схема розроблюваної в роботі системи підтримки прийняття рішень

Основне завдання функціонування розроблюваної СППР базується на принципі здійснення цією системою певної послідовності дій в реальному часі.

Кожний цикл пасажироперевезень здійснених транспортним підприємством в ідеальному випадку має знайти своє відображення в його базі даних. Отримання нових даних вимагає їх аналізу та попередньої підготовки (рис. 3.2), в зв'язку з чим, проводиться перевірка на наявність помилок та відхилень (втрачених даних), з'ясовується механізми їх виникнення. Якщо такі відхилення є наслідком помилково введеної інформації, то відповідний запис вилучається у випадку виявлення багатьох помилок. Якщо помилка є одноразовою, то відповідне поле маркується як поле із помилковим (або відсутнім) записом, яке відповідним чином оброблюється.

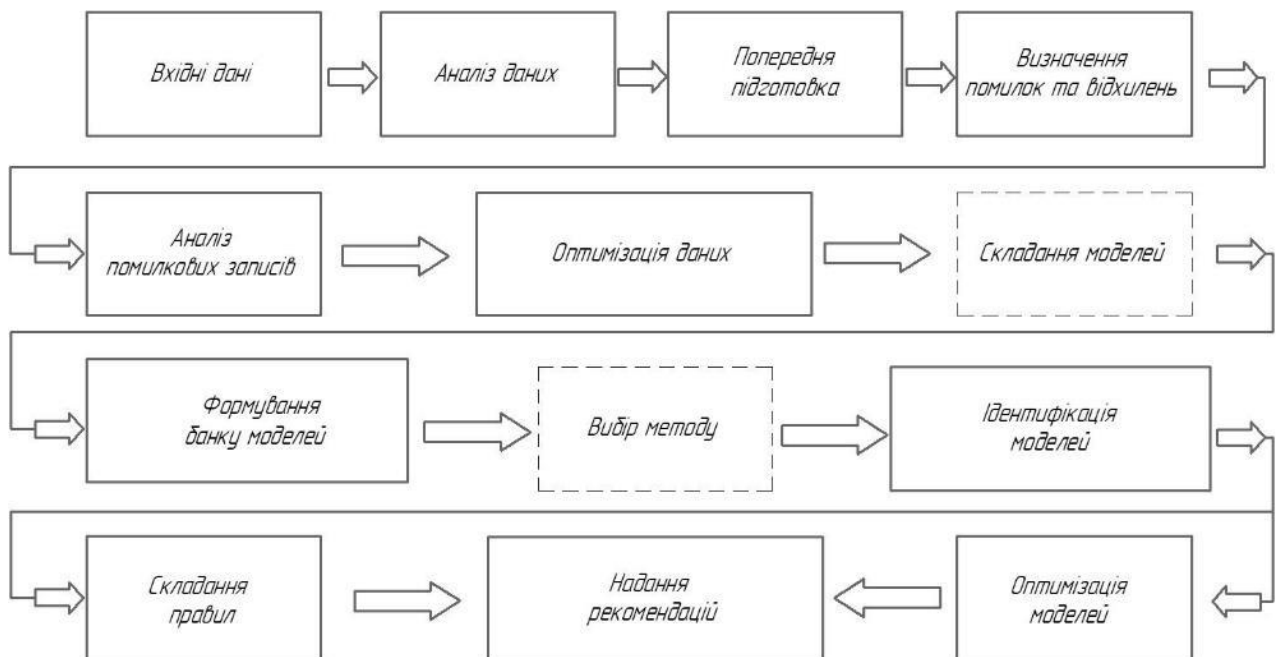


Рисунок 3.2 – Функціональна схема системи підтримки прийняття рішень

На наступному етапі виправляються помилки та заповнюються пропуски в даних. Далі, данні оптимізуються таким чином, щоб враховувати лише інформативні, значущі фактори.

В основі розв'язання задач пошуку оптимальних маршрутів та умов пасажироперевезень лежить використання моделей. Для цього визначається

масив таких можливих моделей і здійснюється підбір методів, використання яких дозволить провести структурну та параметричну ідентифікацію цих моделей. Здійснена ідентифікація дозволяє спрогнозувати та мониторити зміну результуючих показників. Після оптимізації одержаних моделей, отримуються найбільш рекомендовані значення параметрів транспортування, за яких показник ефективності матиме найвище значення.

### 3.3. Формування баз знань при структурованому представленні інформації

Як було встановлено в підрозділі 3.1, найкращими альтернативами, що лежать в основі СППР автоматизації пасажироперевезень є ті, що пов'язані із пошуком маршрутів руху пасажирського транспорту. Тому, у даному підрозділі розглядається етап роботи СППР зі створення бази даних оптимальних маршрутів для пасажирського транспорту м. Черкаси, яка формувалась із переліку існуючих та можливих маршрутів. В якості прикладу, для підтвердження ефективності впровадження СППР в сферу міських пасажироперевезень використано раніше розглянуті маршрути: 1-2-3-4, 1-6-5-4, 1-7-5-4 (див. рис.2.21).

Структура розроблюваної бази даних наведена в табл. 3.4 (дані, що входять до таблиці взято із табл.2.4 – 2.6).

Таблиця 3.4

#### Структура бази даних та приклад запису в ній

№ запису	Дата	ІД маршруту	Загальний час руху, хв	Час простою, хв	Довжина маршруту, км
34	12.07.19	1-4	53	15	11,45
Кількість зупинок	Навантаженість маршруту	Інтервал руху, хв	Привабливість, бали		
			Маршрут 1 (основний)	Маршрут 2 (зворотний)	Маршрут 3 (альтернативний)
24	85	8	3,7	4,5	4,9
.....					
Витрати на інформ. сповіщення, грн	Кількість працюючих перевізників	Вартість основних фондів, грн	Річний дохід, грн	Річні витрати, грн	Ємність ринку, грн
392 609	30	26 996 000	7 851 974	3 576 313	3 926 087
.....					

Формальні ідентифікатори полів бази даних та типи полів показані в табл. 3.5, в якій відображені назви полів бази даних (табл. 3.4) та вказані їх типи. Зокрема, тип  $I(A)$  – числовий цілий тип ( $A$  – кількість зарезервованих позицій для розрядів цілого числа),  $F(N)$  – числовий тип з плаваючою крапкою ( $N$  – кількість зарезервованих позицій для розрядів числа; тут  $N-2$  – кількість дробових розрядів),  $Date$  – поле дати у відповідному форматі.

Таблиця 3.5

Формальні ідентифікатори полів баз даних та їх типи

Num	Date	ID	Truh	Tpros	Len
I(3)	Date	I(3)	I(3)	I(3)	F(4)
Zup	Nav	Iruh	WB1	WB2	WB3
I(2)	I(3)	I(3)	F(3)	F(3)	F(3)
.....					
Inf	Driv	Fonds	Pro	Loss	Vol
I(6)	I(2)	I(8)	I(8)	I(8)	I(8)

Послідовність формування та ідентифікації моделей є наступною [136].

1. Досліджується внутрішня динаміка показників прогнозування (визначаються прогнозні значення показників через певні проміжки часу). Розв'язання такої задачі полягає у ідентифікації моделей виду:

$$Y_i = f(t), \quad i = \overline{1, n},$$

де  $Y_i$  – показники ефективності  $i$ -го маршруту, бали;  $n$  – їх кількість.

Даний вид моделей допускає візуалізацію. Також модель дозволяє розрахувати прогнозні значення та одержати додаткову інформацію для майбутніх моментів часу.

Одним із показників ефективності маршруту є його економічна доцільність. Тому далі розглядається задача ідентифікації доходу та витрат на маршруті №1. Тоді, правила прийняття рішень для ОПР сформулюються наступним чином. Нехай  $Y_1$  – дохід,  $Y_2$  – витрати транспортного підприємства,



$t$  – календарний номер місяця. Оскільки в базу даних записується рух грошових коштів, який може відбуватися у будь-який момент часу, то її доцільно звести до підсумкових щомісячних даних, табл.3.6.

Таблиця 3.6

Що місячний рух коштів транспортного підприємства (тис. грн.)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
$Y_1$	706,6	392,6	628,1	863,7	706,7	471,1	235,6	628,2	785,2	785,2	863,7	785,2	702,4	402,8	638,4	870,1	718,8
$Y_2$	327,4	206,8	367,3	375,5	386,2	241,6	152	297,7	302	327,2	278,6	314	334,5	200,9	359,2	371,1	385,9

Графік щомісячного руху коштів наведений на рис.3.3.

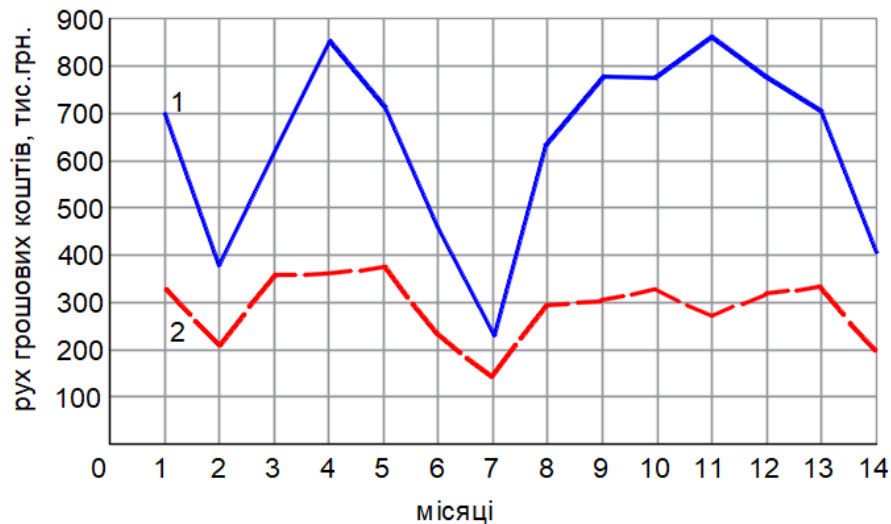


Рисунок 3.3 – Графіки щомісячних доходів (1) та витрат (2) при русі грошових коштів транспортного підприємства

Оскільки серед отриманих в табл.3.5 даних відсутні втрачені дані, в якості найкращої моделі обирається нейромережева модель, що демонструє якісні результати в процесі розв'язання аналогічних задач прогнозування [134]. Попередній аналіз свідчить про раціональність використання мережі з прямозв'язною архітектурою, а саме мережу типу персептрона та RBF-мережу [135]. Тоді набір даних матиме таку структуру:

$$\langle t, Y_k, Y_{k+1}, Y_{k+2}, Y_{k+3}, Y_{k+4} \rangle. \quad (3.6)$$

Перша складова такого набору даних – часовий маркер. Наступні три складові – дані що подаються на вхід нейромережі, остання складова є її виходом. Таким чином, вхідні образи є такими:  $\langle 1; 706,6; 392,6; 628,1 \rangle$ ,  $\langle 2; 392,6; 628,1; 863,7 \rangle$ ,  $\langle 3; 628,1; 863,7; 706,7 \rangle$ , ...,  $\langle 11; 863,7; 785,2; 702,4 \rangle$ ; вихідні образи:  $\langle 863,7; 706,7; \dots; 402,8 \rangle$ . Для нейромережі типу персептрона обирається один прихований шар із 10 нейронами, що відповідає оцінкам, які наведеним в праці [134]. Нейромережа навчатиметься з використанням алгоритму Левенберга-Марквардта, що належить до алгоритмів класу *back propagation* [134]. Оскільки дані відрізняються розмірністю, є необхідність попереднього їх нормування. Відповідно, результати прогнозування розформовуються. У нейронах прихованого шару активаційною функцією є класичний сигмоїд; вихідний нейрон має вигляд активаційної функції *ReLU*. Критерієм закінчення є значення середньоквадратичної похибки, яка має бути меншою за 1%. Таким чином, отримуються наступні прогнозовані значення доходу транспортного підприємства: 633,1; 868; 713.

Порівнявши отримані прогнозовані значення зі значеннями наведеними в табл.3.6 (15-17 місяці руху коштів), кожен побачить, що вищезазначена умова дотримується. В останньому експерименті використовувалася прямозв'язна нейромережа із RBF-функціями активації. Прямий алгоритм навчання нейромережі, в якій один прихований шар, що містить 11 нейронів. RBF-мережа відрізняється високою точністю прогнозування в області навчальних образів і втратою такої точності за її межами. Тому раціонально при надходженні кожного нового навчального образу додавати нейрон прихованого шару та здійснювати перенавчання нейромережі. У даному експерименті такої можливості немає, тому мережа навчається один раз, а потім вже використовується. В результаті одержуються такі прогнозні значення витрат транспортного підприємства: 361,3; 370,4; 388,3 (відхилення від експериментальних даних табл.3.6 не перевищує 1%).

Результати експериментів для прогнозування можливих доходів та витрат свідчать на користь застосування апарату нейромереж. Необхідно

мати на увазі, що мають місце залежності показників ефективності від часу. В той же час такі залежності простіше ніж інші піддаються обробці.

Одержані прогнози значення є даними, які використовує ОПР для корегування СППР. За значеннями доходу та витрат можна порахувати рентабельність пасажироперевезень за формулою:

$$A = \frac{Y_1 - Y_2}{Y_2}. \quad (3.7)$$

Отриманий вектор значень рентабельності (1,2; 0,9; 0,7; 1,3; 0,8; 1,0; 0,6; 1,1; 1,6; 1,4; 2,1; 1,5; 1,1; 1,0) свідчить про те, що запропонований маршрут в цілому рентабельний (узагальнений коефіцієнт рентабельності  $1,16 > 1$ ).

Для прийняття рішень використовується система чітких продукційних правил [138, 139]:

- якщо  $A_{-3} < A_{-2} \& A_{-2} < A_{-1} \& A_{-1} < A_1 \& A_1 < A_2 \& A_2 < A_3$ , тоді  $p, s, c = const$ ; (3.8)
- якщо  $A_{-3} < A_{-2} \& A_{-2} < A_{-1} \& A_{-1} > A_1 \& A_1 > A_2 \& A_2 > A_3$ , тоді  $p_1 \rightarrow p_2, s, c = const$ ;
- якщо  $A_{-3} < A_{-2} \& A_{-2} > A_{-1} \& A_{-1} < A_1 \& A_1 > A_2 \& A_2 < A_3$ , тоді  $p_1 \rightarrow p_2 \vee p_3 \vee p_4 \vee p_5, s, c = const$ ;
- якщо  $A_{-3} < A_{-2} \& A_{-2} > A_{-1} \& A_{-1} < A_1 \& A_1 > A_2 \& A_2 > A_3$ , тоді  $p, s = const, c_1 \rightarrow c_2$ .

З першого правила випливає, що якщо рентабельність постійно збільшується, то потреби у зміні складу множини задач, зміні маршрутів чи стратегії управління немає. Друге правило вказує на постійне (протягом трьох періодів) зниження рентабельності після такого ж тривалого її росту і необхідність зміни задач (наприклад, змінити графік або маршрут перевезень).

Запропонований підхід має місце оскільки є пряма залежність показників від часу. Зокрема, загальне нечітке продукційне правило для залежності вихідної характеристики від часу є таким:

$$\text{Якщо } Y_1 \in B_1 \& (Y_1 - Y_2) \in B_2, \text{ то } p \in P \& c \in C \& s \in S. \quad (3.9)$$

Лінгвістичні змінні означають:  $B_1$  – дохід,  $B_2$  – прибуток. Терм множин нечітких змінних є наступним:  $B_1 = \langle \text{низький, середній, високий} \rangle$ ,  $B_2 = \langle \text{великий від'ємний, середній від'ємний, практично нульовий, середній додатній, великий додатній} \rangle$ . Для лінгвістичних змінних  $P, C, S$  (зміна

розкладів, зміна маршрутів, зміна стратегії управління пасажироперевезеннями, відповідно) терм-множини є однаковими: <незначна, помірна, значна>.

Оскільки функції належності найчастіше записуються, як параметричні рівняння. У цьому випадку задача встановлення функцій належності полягає у визначенні параметрів цієї функції. Для цього визначаються її форма та числові значення, що характеризують положення нечіткої множини на універсальній площині. Використовуються стандартні форми функції належності класів  $s$ ,  $\pi$ ,  $\gamma$ ,  $t$ ,  $L$ , які характеризуються чисельними значеннями.

Найпоширеніші форми, які будуть використовуватися у даній роботі для побудови функції належності вхідних та вихідних сигналів моделі.

1. Параметричний вигляд функції належності класу  $s$ :

$$s(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & \text{для } x \leq a, \\ 2 \cdot \left(\frac{x-a}{c-a}\right)^2, & \text{для } a \leq x \leq b, \\ 1 - 2 \cdot \left(\frac{x-c}{c-a}\right)^2, & \text{для } b \leq x \leq c, \\ 1, & \text{для } x \geq c. \end{cases} \quad (3.10)$$

У точці  $x = b = (a + c)/2$  дана функція належності приймаємо значення 0,5.

2. Параметричний вигляд функції належності класу  $\pi$  описується через функцію належності класу  $s$ :

$$\pi(x, b, c) = \begin{cases} s\left(x, c - b, \frac{c-b}{2}, c\right) & \text{для } x \leq c, \\ 1 - s\left(x, c, \frac{c+b}{2}, c + b\right) & \text{для } x \geq c. \end{cases} \quad (3.11)$$

Функція належності класу  $\pi$  набуває нульових значень для  $x \geq c + b$  та  $x \leq c - b$ . У точках  $x = (c \pm b)/2$  її значення дорівнює 0,5.

3. Функція належності класу  $\gamma$  набуває значень за таких умов:

$$\gamma(x, a, b) = \begin{cases} 0, & \text{для } x \leq a, \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{для } a \leq x \leq b, \\ 1, & \text{для } x \geq b. \end{cases} \quad (3.12)$$

4. Функція належності класу  $t$  визначається:

$$t(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & \text{для } x \leq a, \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{для } a \leq x \leq b, \\ \frac{c-x}{c-b}, & \text{для } b \leq x \leq c, \\ 0, & \text{для } x \geq c. \end{cases} \quad (3.13)$$

Інколи функція належності класу  $t$  може бути альтернативною відносно до функції класу  $\pi$ .

5. Функція належності класу  $L$ :

$$L(x, a, b) = \begin{cases} 1, & \text{для } x \leq a, \\ \frac{b-x}{b-a}, & \text{для } a \leq x \leq b, \\ 0, & \text{для } x \geq b. \end{cases} \quad (3.14)$$

Графічне представлення кожного із видів функції належності, а також їх поєднання наведено на рис. 3.4.

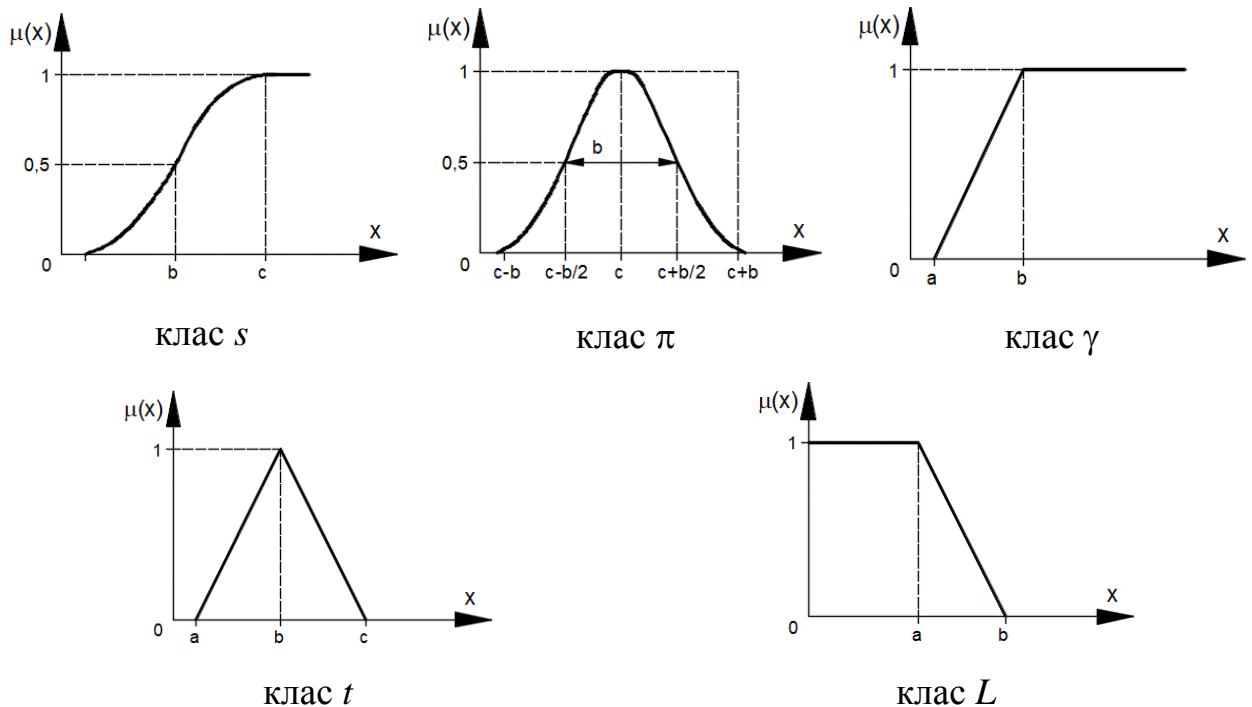


Рисунок 3.4 – Графічне зображення функцій належності основних класів

Далі знаходиться залежність одного із показників ефективності знаходження оптимального маршруту для транспортного пасажирського підприємства від значень певних факторів. В якості чергового показника ефективності для знаходження моделі СППР обирається показник привабливості маршруту ( $Y$ , бали  $[0; 5]$ ). Для розв'язання задачі фактори

визначаються ОПР і є наступними: загальний час доїзду до пункту призначення ( $Y_1$ , хв); середній інтервал на маршруті ( $Y_2$ , хв); наповненість транспортного засобу ( $Y_3$ , %); комфортність поїздки ( $Y_4$ , бали [0; 10]); безпека поїздки ( $Y_5$ , бали [0; 5 бали [0; 5]]). Моделі для цієї задачі у загальному випадку мають вигляд:

$$Y_{i=1,n} = F(Y_1, Y_2, \dots, Y_{i-1}, Y_{i+1}, \dots, Y_n). \quad (3.15)$$

Такі моделі дозволяють знайти ступінь впливу визначених факторів на встановлений показник ефективності, що дозволяє здійснювати управляючі впливи на процес пасажироперевезення. Прикладом моделі (3.15) є така:

$$Y = a_0 + a_1Y_1 + a_2Y_2 + a_3Y_3 + a_4Y_4 + a_5Y_5, \quad (3.16)$$

де  $Y$  – показник привабливості маршруту, бали [0; 5],  $Y_1$  – загальний час доїзду до пункту призначення, хв,  $Y_2$  – середній інтервал на маршруті, хв,  $Y_3$  – наповненість транспортного засобу, %,  $Y_4$  – комфортність поїздки, бали [0; 10],  $Y_5$  – безпека поїздки, бали [0; 5],  $a_i$  – вагові коефіцієнти, які необхідно знайти,  $i = 1, n$ . Моделі подібного типу задаються неймережами.

Розгорнуто моделі мають такий вигляд:

$$Y_t = G(Y_{t-1}^l), Y_t = a + bY_{t-1}^l, Y_t = a + bt + cY_{t-1}^l, \quad (3.17)$$

де  $Y$  – привабливість маршруту в період, що визначається часом  $t$ ,  $Y_{t-1}^l$  – привабливість цього самого маршруту з таким самим перевізником за попередній проміжок часу.

Вищерозглянуті моделі є основою для процесів підтримки прийняття рішень. Їх специфікація здійснюється умовно. В процесі параметричної ідентифікації отримуються повноцінні моделі, які можуть використовуватися для прогнозування показників ефективності та динаміки їх розвитку. Ретроспективна інформація та прогнозовані дані дозволяють приймати рішення у відповідності до продукційних правил. Важливо зауважити, що для ОПР потрібно передбачити узагальнюючу функцію моделей.

Враховуючи усе вищезазначене проведемо послідовне розроблення узагальнюючої моделі СППР.

Для цього сформулюємо продукційні правила розроблюваної СППР:

П1: Якщо привабливість маршруту висока, вартість перевезення низька, а прибуток значно зростає, то необхідність зміни розкладу та маршруту є низькою;

П2: Якщо привабливість маршруту вище середньої, вартість перевезення висока, а прибуток незначно зростає, то необхідність зміни розкладу та маршруту є середньою;

П3: Якщо привабливість маршруту середня, вартість перевезення є середньою, а прибуток незначно зменшується, то необхідність зміни розкладу та маршруту є вищою за середню.

ОПР при цьому необхідно відповісти на питання, що відповідають реальним ситуаціям:

A1: Якщо привабливість маршруту є низькою, вартість перевезення є високою, а прибуток незначно зростає, то якою є міра необхідності зміни розкладу та маршруту?

A2: Якщо привабливість маршруту є нижче середньої, вартість перевезення є нижче середньої, а прибуток значно зменшується, то якою є міра необхідності зміни розкладу та маршруту?

Відповіді на питання A1 та A2 можуть бути отримані, якщо аналітик або мультиагентна система здатні до узагальнення. Можливими є два випадки, у залежності від невизначеності із представленням вхідних даних.

У першому випадку вважається, що є відомими функції належності антецедентів та консеквентів для правил типу П1, П2 та П3. Тоді такі функції належності можна формально представити як кортежі параметрів: трикутну симетричну – як двопараметричний, трикутну несиметричну – як трипараметричний, трапецієподібну – як п'ятипараметричний у загальному випадку, гаусівську – як двопараметричний, дзвоноподібну – як трипараметричний тощо. Значення параметрів відоме.

Для формування відповідей на питання типу A1 та A2 також необхідно побудувати функції належності для їх антецедентів. Після цього можна скористатись правилами нечіткого логічного виведення.

Найбільш універсальним серед алгоритмів такого виведення є нечітке логічне виведення Мамдані у якому використовується мінімаксна композиція нечітких множин. У даному алгоритмі застосовується операція логічного множення замість традиційної мінімізації функцій належності, а спрощене логічне виведення застосовується у тому випадку, коли консеквент не є нечіткою величиною, а є числом.

Цей механізм включає у себе таку послідовність дій:

1. Фазифікація – процедура пошуку значень функції належності нечітких множин, що базуються на чітких даних;

2. Безпосереднє нечітке виведення – процедура знаходження рівнів «відсічення» для передумов кожного із правил (із використанням операції мінімізації);

3. Композиція (агрегація, акумуляція). Усі нечіткі множини, використовуючи функції максимізації або додавання, об'єднуються разом і формують єдину нечітку множину (композицію) – значення для кожної вихідної лінгвістичної змінної;

4. Дефазифікація (зведення до чіткості). Використовується для перетворення нечіткого масиву значень вихідних лінгвістичних змінних в конкретні значення.

Основні методи дефазифікації описано нижче.

Метод центру тяжіння (метод центроїда, *COG – Centre of Gravity*). За цим методом, значення вихідної змінної прирівнюється до абсциси центру тяжіння площі, що обмежена графіком кривої функції належності. Координата центроїда визначається за формулою:

$$y = \frac{\int_{min}^{max} x \cdot \mu(x) dx}{\int_{min}^{max} \mu(x) dx}, \quad (3.18)$$

де  $y$  – чітке значення;  $min$ ,  $max$  – ліва та права точки області визначення нечіткої змінної;  $x$  – змінна, що відповідає вихідній лінгвістичній змінній;  $\mu(x)$  – функція належності нечіткої множини (відповідає вихідній змінній після етапу композиції).



Координата центроїда для точкових множин центру тяжіння (*COGS* – *Centre of Gravity for Singletons*) обчислюється так:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot \mu(x_i))}{\sum_{i=1}^n \mu(x_i)}, \quad (3.19)$$

де  $n$  – кількість точкових нечітких множин, що окремо характеризують єдине значення вихідної лінгвістичної змінної.

За методом центру площі (*COA* – *Centre of Area*) конкретне значення вихідної змінної прирівнюється до абсциси, що ділить площу обмежену графіком функції належності, на дві однакові частини. Центр площі визначається за рівністю:

$$\int_{min}^u \mu(x) dx = \int_u^{max} \mu(x) dx, \quad (3.20)$$

Методами лівого (*LM* – *Left Most Maximum*) та правого (*RM* – *Right Most Maximum*) модального значення конкретне значення вихідної змінної прирівнюється меншій з мод (крайній лівій) або, навпаки, найбільшій з мод (крайній правій) нечіткої множини.

На рис.3.5 проілюстровано процес нечіткого виведення моделі СППР (за Мамдані) для двох вхідних змінних та трьох нечітких правил (див. стор. 120). Обрання певних параметрів на кожному з етапів становить алгоритм, що повністю реалізує процес нечіткого виведення такої моделі.

Теорія нечіткої логіки та нечіткого виведення буде використовуватися в даному дисертаційному дослідженні для створення моделі СППР для визначення найбільш раціонального маршруту. За її допомогою та в режимі реального часу визначатиметься оптимальний маршрут для кожного пасажирського перевезення із кількох альтернативних.

Таким чином, п'ять алгоритмів нечіткого логічного виведення дозволяють одержати узагальнення правил типу П1, П2 та П3 та зробити максимально незміщені правильні виведення.

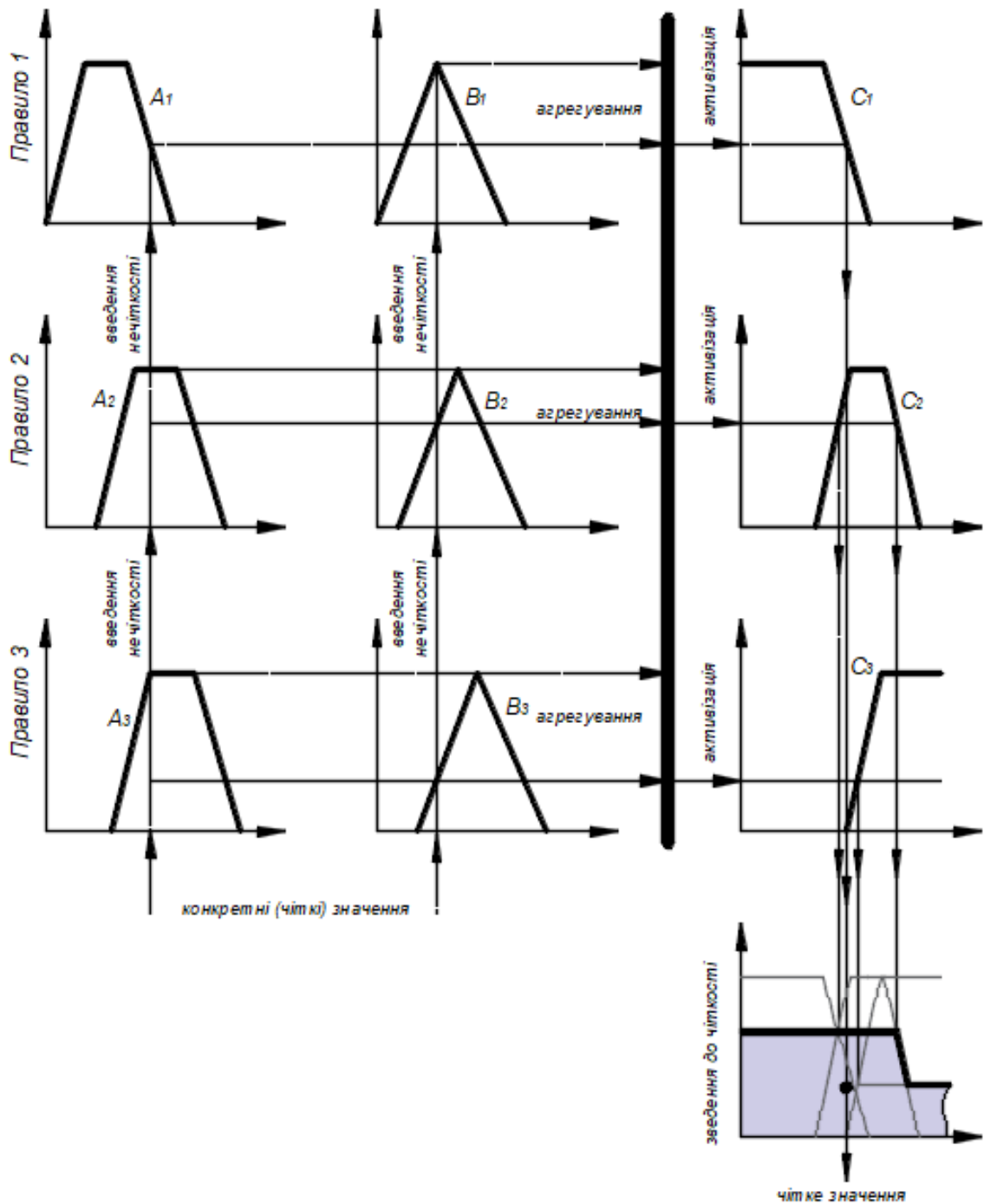


Рисунок 3.5 – Основні етапи нечіткого виведення моделі СППР (за Мамдані)

У другому випадку експерт встановлює чіткі правила такого типу:

ПП1: Якщо привабливість маршруту складає 4,9 бали, вартість перевезення – 3 грн, а прибуток збільшився на 32% (у порівнянні з минулим періодом), то необхідність зміни розкладу та маршруту оцінюється як 1 до 20;

ПП2: Якщо привабливість маршруту складає 3,2 бали, вартість перевезення – 8 грн., а прибуток зріс на 4% (у порівнянні з минулим періодом), то необхідність зміни розкладу та маршруту оцінюється як 1 до 10;

ПП3: Якщо привабливість маршруту становить 2,6 бали, вартість перевезення – 5 грн., а прибуток зменшився на 5%, то необхідність зміни розкладу та маршруту оцінюється як 1 до 4.

Якщо позначити привабливість маршруту як  $P$ , вартість проїзду як  $B$ , зміну прибутку як  $V$ , то питання А1 та А2 переписуються таким чином:

А1: Якщо  $P = 1,5$  &  $B = 8$  &  $V = 4$ , тоді  $\mu(M) = ?$

А2: Якщо  $P = 2,4$  &  $B = 4$  &  $V = 5$ , тоді  $\mu(M) = ?$

де  $M$  – критерій, що вказує на необхідність зміни розкладу та маршруту,  $\mu(*)$  – відповідна функція належності. Питання А1 та А2 містять чіткі величини, тому для відповіді на них використовуються методи чіткої ідентифікації. Проте недостатня кількість даних та неможливість відтворити експеримент не дозволяють одержати точні або прийнятні оцінки необхідності зміни спектру задач. У такому випадку доцільно скористатись апаратом нейро-нечітких мереж. Так, професор Снитюк В.Є пропонує алгоритм навчання мережі TSK (Takagi-Sugeno-Kanga) із нечітким логічним виведенням, яке використовується при пошуку узагальнень для правил, що не мають аналогів у базі знань СППР [140].

Перевагами даного алгоритму є менша похибка апроксимації функції ніж у інших алгоритмів, простіша реалізація та значно менший час обрахунку.

Послідовність навчання нейро-нечіткої мережі є така.

*Крок 1.* Визначення структури та елементного базису мережі. Так, вихід нечіткої нейромережі розраховується за виразом:

$$\begin{aligned} \hat{Z} &= q_1 + q_2 = \overline{w_1}(a_1x + b_1y) + \overline{w_2}(a_2x + b_2y) = \\ &= \frac{\sum_{i=1}^2 \mu_{A_i}(x) \cdot \mu_{B_i}(y) \cdot (a_i x + b_i y)}{\sum_{j=1}^2 \mu_{A_j}(x) \cdot \mu_{B_j}(y)}. \end{aligned} \quad (3.21)$$

В якості двопараметричного кортежу параметрів використовується гаусівська функція належності, тобто:

$$\mu_{A_i}(x) = \exp\left[-\left(\frac{x-\bar{x}_i^A}{\delta_i^A}\right)^2\right], \mu_{B_i}(y) = \exp\left[-\left(\frac{y-\bar{y}_i^B}{\delta_i^B}\right)^2\right], i = \overline{1,2}. \quad (3.22)$$

*Крок 2.* Ініціалізація значень параметрів. Величини:

$$\gamma = \{\bar{x}_1^A, \bar{x}_2^A, \bar{y}_1^B, \bar{y}_2^B, \delta_1^A, \delta_2^A, \delta_1^B, \delta_2^B, a_1, a_2, b_1, b_2\} \quad (3.23)$$

є параметрами алгоритму виведення, що підлягають оптимізації шляхом навчання нечіткої нейромережі.

*Крок 3.* Стохастично обирається навчальний образ. Нехай нечіткою нейромережею реалізовано невідоме відображення:

$$Z = F(x, y). \quad (3.24)$$

Є навчальна вибірка  $\{(x^1, y^1, z^1), \dots, (x^n, y^n, z^n)\}$ , тут  $x^i, y^i, z^i, i = \overline{1, n}$  – цілі числа.

*Крок 4.* Розраховується значення цільової функції, яка для  $k$ -го образу:

$$E_k = \frac{(\hat{Z}^k(\gamma) - Z^k)^2}{2}, \quad k = \overline{1, n}, \quad (3.25)$$

де  $Z^k(\gamma), Z^k$  – розраховані та, відповідно, задані значення виходу нейромережі. Як і для навчання звичайних нейронних мереж, використано градієнтний метод, який дозволяє здійснювати налаштування параметрів (3.23), мінімізуючи функцію (3.25):

$$E_k = \frac{(\hat{Z}^k(\gamma) - Z^k)^2}{2} = \frac{(\hat{Z}^k(\bar{x}_1^A, \bar{x}_2^A, \bar{y}_1^B, \bar{y}_2^B, \delta_1^A, \delta_2^A, \delta_1^B, \delta_2^B, a_1, a_2, b_1, b_2) - Z^k)^2}{2}, \quad k = \overline{1, n}. \quad (3.26)$$

*Крок 5.* Коригується значення параметрів. Коригування значень параметрів, зокрема  $\bar{x}_1^A$ , відбувається за формулою:

$$\bar{x}_1^A(t+1) = \bar{x}_1^A(t) - \eta \frac{\partial E_k}{\partial \bar{x}_1^A(t)}, \quad (3.27)$$

де  $\bar{x}_1^A(t)$  – значення параметра  $\bar{x}_1^A$  на часовій ітерації  $t$ ,

$$\frac{\partial E_k}{\partial \bar{x}_1^A} = \frac{\partial E_k}{\partial \hat{Z}^k(\gamma)} \cdot \frac{\partial \hat{Z}^k(\gamma)}{\partial \mu_{A_i}(x)} \cdot \frac{\partial \mu_{A_i}(x)}{\partial \bar{x}_1^A(t)};$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \bar{x}_1^A} = \frac{2 \cdot (\hat{Z}^k(\gamma) - Z^k) \cdot (x - \bar{x}_1^A(t)) \cdot \mu_{A_1}(x) \cdot \mu_{B_1}(y)}{\delta_1^A \cdot \sum_{i=1}^2 \mu_{A_i}(x) \cdot \mu_{B_i}(y)} \times \sum_{j=1}^2 (\mu_{A_j}(x) \cdot \mu_{B_j}(y) + 1) \cdot (a_j x + b_j y).$$

Аналогічні перетворення діють для параметрів  $\bar{x}_2^A, \bar{y}_1^B, \bar{y}_2^B, \delta_1^A, \delta_2^A, \delta_1^B, \delta_2^B$ .

Перетворення для параметру  $a_1$  (аналогічно, вирази для коригування параметрів  $a_2, b_1, b_2$ ) є таким:

$$a_1(t+1) = a_1(t) - \eta \frac{\partial E_k}{\partial a_1(t)},$$

де  $a_1(t)$  – значення параметра  $a_1$  на часовій ітерації  $t$ ,

$$\frac{\partial E_k}{\partial a_1(t)} = \frac{\partial E_k}{\partial \hat{Z}^k(\gamma)} \cdot \frac{\partial \hat{Z}^k(\gamma)}{\partial a_1(t)} = \frac{(\hat{Z}^k(\gamma) - Z^k) \cdot (a - a_1(t)) \cdot \mu_{A_1}(x) \cdot \mu_{B_1}(y)}{\sum_{i=1}^2 \mu_{A_i}(x) \cdot \mu_{B_i}(y)}. \quad (3.28)$$

*Крок 6.* За умови подання  $n$  образів та виконання відповідних коригувань, ці образи додатково подаються у визначеному порядку без коригування внаслідок чого знаходиться сумарне значення цільової функції  $E = \sum_{k=1}^n E_k$ . Невиконання умови  $E < \varepsilon$ , де  $\varepsilon > 0$  – деяке задане число, веде до обнуління лічильників і переходу на крок 3. Перехід на крок 3 також передбачається за умови, якщо подано менше ніж  $n$  образів.

В іншому випадку ( $E < \varepsilon$ ) отримуються результати розрахунку цільової функції. Навчання нейро-нечіткої мережі закінчено.

Запропоновані моделі можуть бути вдосконалені в подальшому шляхом урахування або компетентності експертів, або урахування суджень багатьох експертів з одного питання, або урахування суджень багатьох експертів з багатьох питань та з урахуванням їх компетентності.

### 3.4. Функціонально-орієнтоване проектування інформаційної системи

Найскладнішими при розробці інформаційної системи (ІС) є етапи аналізу та проектування. На цих етапах CASE-засоби мають забезпечувати дотримання якості технічних рішень, що приймаються.

При проектуванні інформаційної системи прийняття рішень у ситуаційних центрах застосовується такий CASE-засіб, як BPWin - засіб функціонального моделювання, що реалізує комплекс методологій для розв'язання задач моделювання складних систем (IDEF).

Побудова контекстної діаграми. Моделювання системи в методології IDEF0 (використовується для моделювання предметних областей та формування вимог до складних технічних систем) починається з побудови контекстної діаграми, що представляє опис системи та її взаємодію із зовнішнім середовищем.

Контекстна діаграма моделі ІС ППР в ситуаційних центрах наведена на рис.3.6.

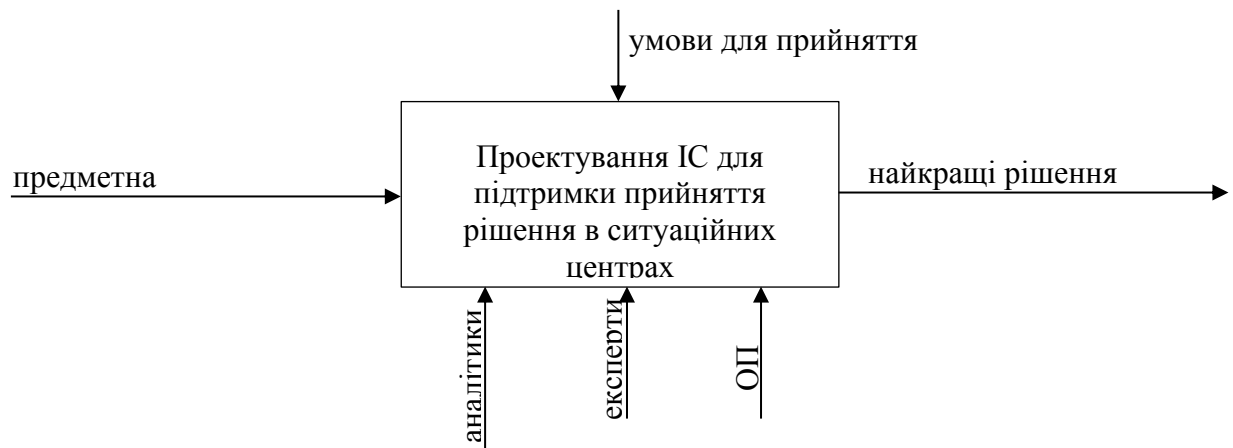


Рисунок 3.6 – Контекстна діаграма моделі ІС ППР в ситуаційних центрах

Вхідною інформацією для даної моделі є предметна діяльність (громадські пасажироперевезення). Механізмом керування є умови для прийняття рішення, що відповідають за виконання ППР. Механізмами виконання є: аналітики, експерти та особи, які приймають рішення (ОП). У якості вихідної інформації виступає варіант найкращої альтернативи.

Процес проектування ІС ППР у ситуаційному центрі складається з трьох етапів: «Створення критеріїв», «Створення альтернатив», «Вибір і реалізація методу». Діаграма декомпозиції першого рівня наведена на рис.3.7.

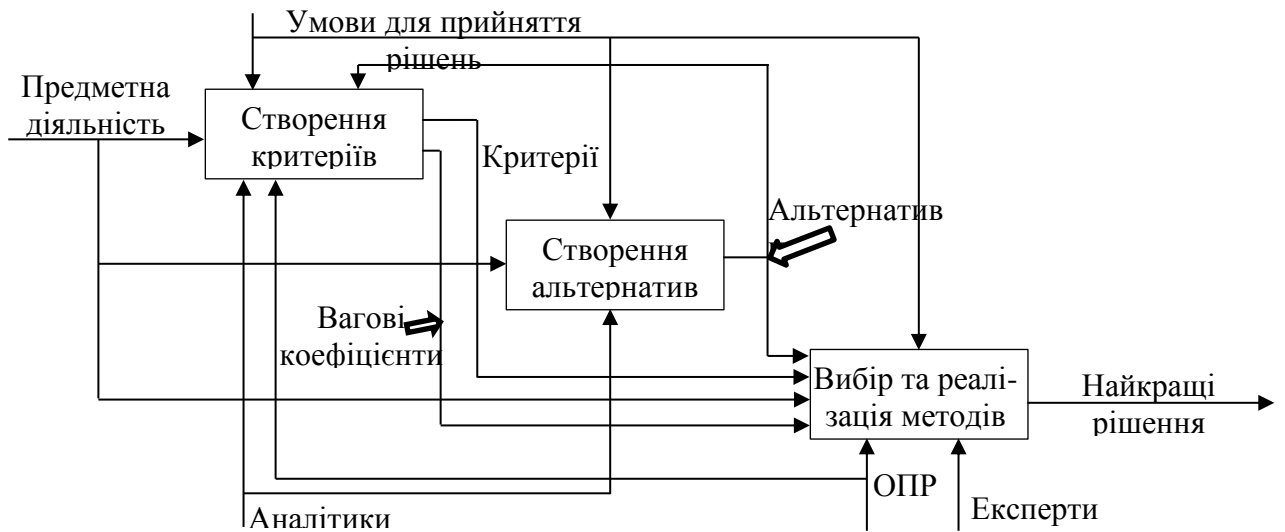


Рисунок 3.7 – Діаграма декомпозиції першого рівня

На етапі «Вибір і реалізація методу» реалізуються три функціональні блоки: «Вибір методу розрахунку», «Розрахунок підсумкових оцінок альтернатив» та «Вибір найкращої альтернативи». Діаграма декомпозиції другого рівня наводиться на рис.3.8.

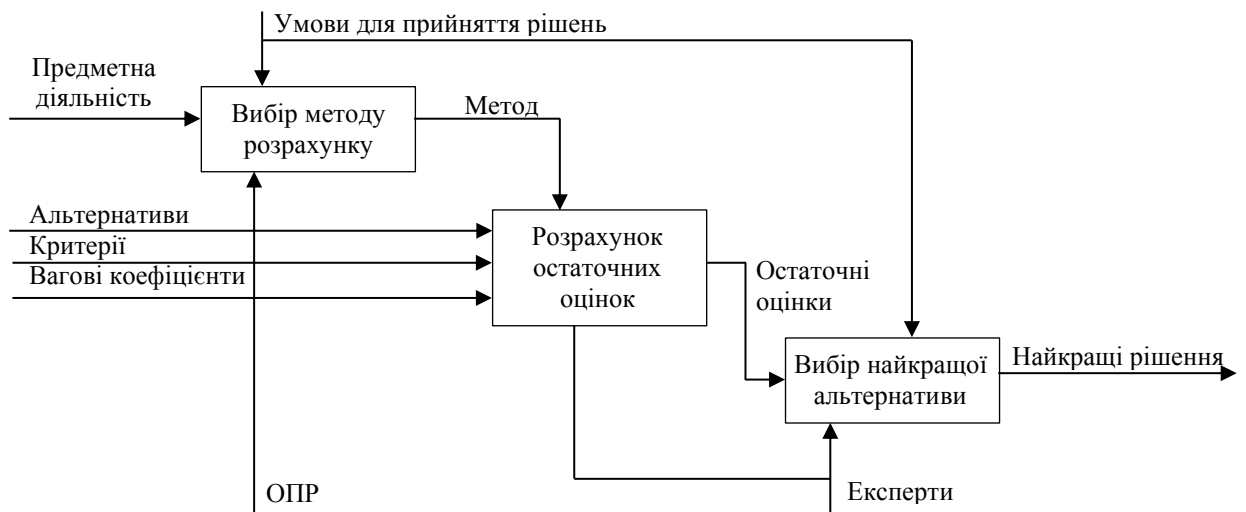


Рисунок 3.8 – Діаграма декомпозиції другого рівня

Основні елементи моделі «ІС ППР» наведені в Додатку В (табл.В.1–В.3).

#### Побудова діаграми розробки моделей процесів виконання дій в ІС.

Методологія IDEF3 (доповнення до IDEF0) використовується для розробки моделей процесів, в яких можна зрозуміти послідовність виконання

дій. Діаграма IDEF3 – це технологія, пристосована для збору даних необхідних для проведення структурного аналізу систем, рис.3.9.



Рисунок 3.9 – Діаграма IDEF3 моделі ІС ППР у ситуаційних центрах

Діаграма IDEF3 складається з наступних дій. Для декомпозиції блоку «Вибір методу розрахунку» виділено три дії: «Аналіз предметної діяльності», «Вибір методу ППР за допомогою методу переваги», «Підтвердження обраного методу». Вихідними даними діаграми є інформація про обраний метод прийняття рішень.

Основні елементи моделі наводяться в Додатку В (табл. В.4 – В.6).

Побудова діаграми потоків даних DFD. Діаграми DFD моделюють систему як взаємоз'єднаний набір дій і містять два нових типи об'єктів:

- 1) сховища даних – об'єкти, що акумулюють інформацію;
- 2) зовнішні елементи – об'єкти, що моделюють взаємодію із зовнішніми частинами системи.

В даному розділі присутні чотири об'єкти типу «сховища даних» (критерії, вагові коефіцієнти, альтернативи, підсумкові оцінки альтернатив) і два об'єкти типу «зовнішні елементи» (обраний спосіб, експерти).

Діаграми DFD з проектування автоматизованої системи пасажирських перевезень представлена на рис.3.10. Основні елементи моделі представлені в Додатку В (табл. В.7 – В.9).



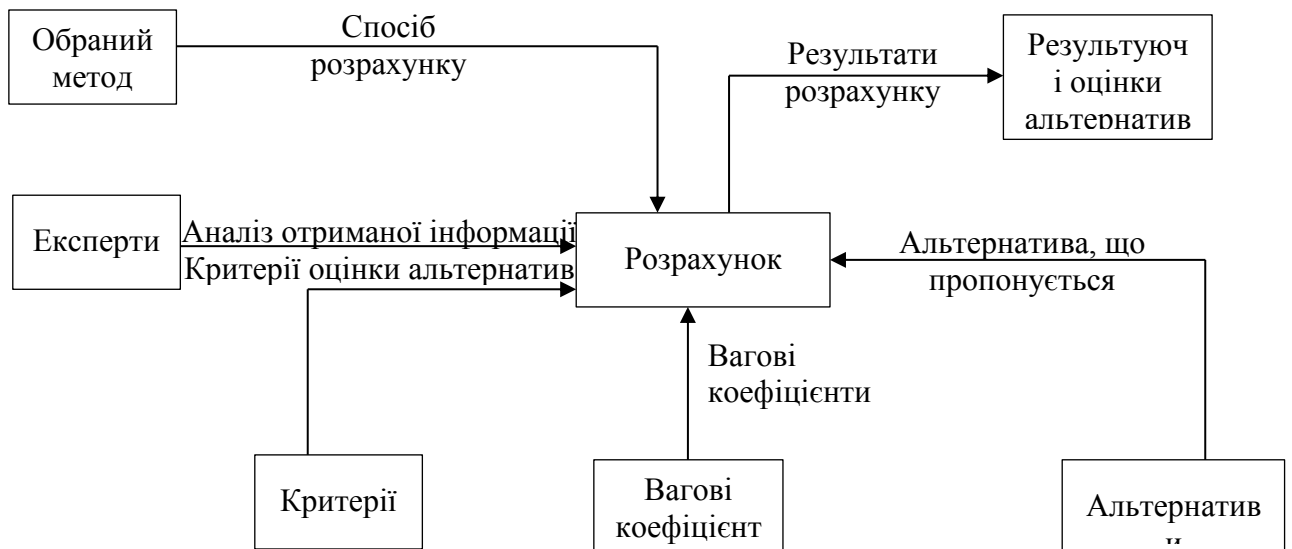


Рисунок 3.10 – Діаграма DFD з проектування автоматизованої системи пасажирських перевезень

### 3.5. Об'єктно-орієнтоване проектування інформаційної системи

Для об'єктно-орієнтованого проектування використовується уніфікована мова проектування UML (Unified Modeling Language).

#### Побудова діаграми варіантів використання.

Функціональне призначення системи описується діаграмою варіантів використання (*usecase diagram*), що є основним вихідним принципом або концептуальною моделлю системи при її проектуванні і розробленні.

Розроблення діаграми варіантів використання наслідують такі цілі:

- визначення спільних меж і змісту модельованої предметної області на початку проектування системи;
- формулювання загальних вимог до функціональної поведінки проектованої системи;
- розроблення вихідної концептуальної моделі системи для її деталізації, як логічних, так і фізичних моделей.

Діаграма ґрунтується на принципах проектування системи у формі варіантів використання, з якими взаємодіють деякі зовнішні об'єкти (об'єкт, суб'єкт або система, що взаємодіє з модельованою системою ззовні). В той

же час варіант використання застосовується для опису сервісів, що надаються системою таким зовнішнім об'єктам.

Перший етап об'єктно-орієнтованого аналізу і проектування – створення діаграми використання. Метою цього етапу є представлення сукупності функціональних вимог до поведінки системи, що проектується.

Система має три зовнішні об'єкти: аналітик, експерт і ОПР. Базовими варіантами використання є «Первинна інформація», «Критерії», «Альтернативи», «Коефіцієнт компетентності», «Метод».

Розроблена діаграма варіантів використання представлена на рис.3.11.

Для уточнення і деталізації послідовності дій, що здійснюються системою при виконанні її варіантів використання, рекомендується доповнювати цей тип діаграм текстовими сценаріями. Для цієї мети запропонований шаблон представлений в таблиці 3.7.

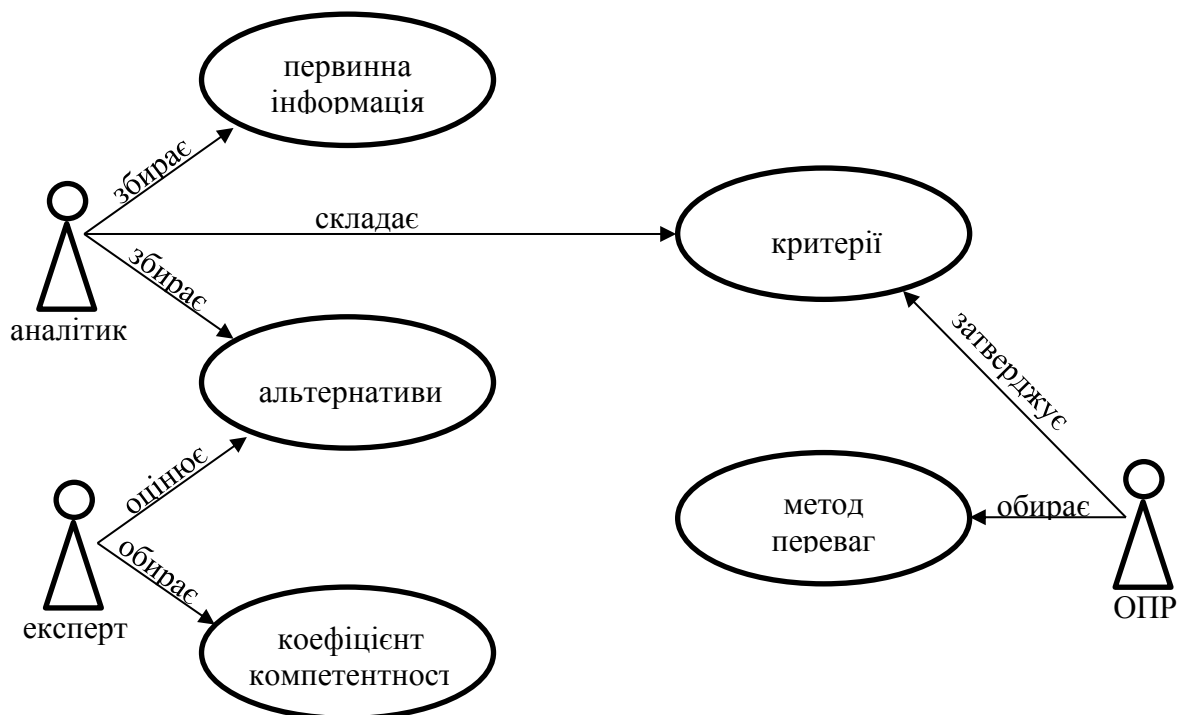


Рисунок 3.11 – Діаграма варіантів використання

Таблиця 3.7

## Шаблон для написання сценарію окремого випадку використання

Головний розділ	Розділ «Типовий хід подій»	Розділ «Винятки»	Розділ «Примітки»
Назва варіанту використання	Типовий хід подій, що веде до успішного виконання варіанту використання	Виняток №1	Примітки
Зовнішні об'єкти			
Мета		Виняток №2	
Опис			
Тип			
Посилання на інші варіанти використання			

На основі запропонованого шаблону розроблений текстовий сценарій, що доповнює діаграму, розкриває зміст окремих дій, що виконуються виконавчою та зовнішньою системами в процесі формування завдань. В цьому випадку сценарій необхідно представляти у вигляді кількох таблиць, кожна з яких характеризує певний розділ. Головний розділ сценарію наводиться у таблиці 3.8.

Таблиця 3.8

## Головний розділ

Головний розділ	Формування завдань
Зовнішні системи	Аналітик, експерт, ОПР
Мета	Формування усіх дій та повноважень для усіх видів користувачів ІС для підтримки прийняття рішень в ситуаційному центрі
Опис	Аналітик збирає інформацію, на основі якої формує альтернативи і критерії. ОПР стверджує обрані критерії та обирає метод, за допомогою якого буде проводитися розрахунок найкращої альтернативи. Експерт оцінює альтернативи і отримує коефіцієнт своєї компетентності в даній предметній діяльності.
Тип	Базовий

У наступному розділі сценарію описується послідовність дій, яка призводить до успішного виконання даного варіанту використання. В даному випадку ініціатором дій виступає один з елементів зовнішньої системи (експерт). Типовий хід подій представлений в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9

## Розділ «Типовий хід подій»

Дія зовнішньої системи	Відклик системи
1. Експерт задає коефіцієнт компетентності	2. Система додає інформацію про компетентність експерта до БД
3. Експерт знайомиться з інформацією про предметну діяльність	4. Система надає інформацію про предметну діяльність
5. Експерт знайомиться з інструкціями, як необхідно виставляти оцінки Виняток №1: ОПР ще не обрав метод	6. Система надає інструкції для реалізації обраного методу
7. Експерт оцінює альтернативи за усіма критеріями, згідно з отриманими інструкціями Виняток №2: Відсутні альтернативи або критерії	8. Система додає інформацію про оцінки альтернатив в БД

У третьому розділі сценарію описуються послідовності дій, які повинні виконуватися при виникненні виняткових ситуацій (виключень). Розділ «Винятки» представлено в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10

## Розділ «Винятки»

Дія зовнішньої системи	Відклик системи
Виняток №1: ОПР ще не обрав метод	
9. Експерт перериває роботу	Система дає можливість ОПР обрати метод прийняття рішення
Виняток №2: Відсутні альтернативи чи критерії	
10. Експерт призупиняє свою роботу	Система пропонує аналітику скласти критерії чи альтернативи

Побудова діаграми діяльності. Діаграма діяльності застосовується для моделювання поведінки системи в рамках різних варіантів використання або моделювання діяльності. Вона відображає потоки робіт у всіх взаємопов'язаних варіантах використання.

В основі даної діаграми знаходиться той принцип, що проєктована система представляється у формі графа діяльності, у вузлах якого знаходяться стани дії, а стрілками показані переходи між станами. Кожний стан на діаграмі відповідає певній елементарній операції. При цьому стан дії – це спеціальний стан з певними вхідними діями та, хоча б, одним переходом, що виходить зі стану. Перехід передбачає, що вхідна дія є

завершеною і тоді маємо наступний стан за умови, що закінчилася дія в поточному стані.

Розроблена діаграма діяльності представлена на рис.3.12.

Представлена діаграма включає одинадцять станів дій: постановку проблемної ситуації, створення переліку критеріїв, створення списку альтернатив, вибір методу, затвердження списку критеріїв, визначення вагових коефіцієнтів, метод кластеризації, метод переваги, бальний метод, оцінка альтернативи за всіма критеріями, виведення найкращої альтернативи.

Для початку користувачеві пропонується ввести дані про предметну діяльність – постановка проблемної ситуації, далі користувач створює списки критеріїв та альтернатив. Списку критеріїв необхідне підтвердження і визначення його вагового коефіцієнту.

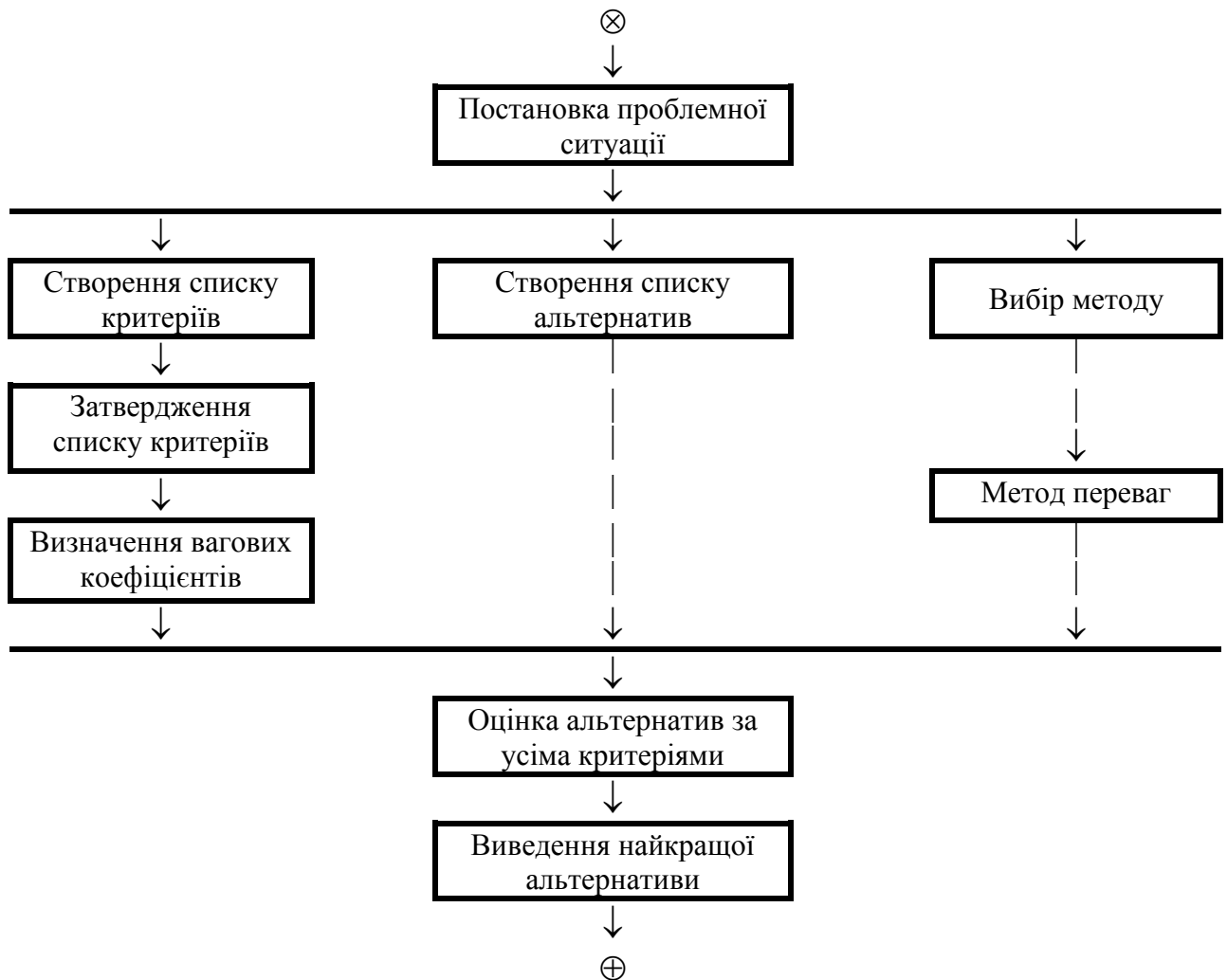


Рисунок 3.12 – Розроблена діаграма діяльності

Після того, як уся вихідна інформація готова, пропонується обрати метод (у нашому випадку – метод переваг, див.п.3.1), за допомогою якого буде проводитися розрахунок найкращої альтернативи. Після цього проводиться оцінка альтернатив за усіма критеріями і в результаті зі списку обирається найкраща альтернатива.

Побудова діаграми класів. Діаграма класів застосовується для моделювання статистичної структури класів системи і зв'язків між ними. Ця діаграма відображає структуру сукупності взаємопов'язаних класів об'єктів, аналогічно ER-діаграмі.

Клас – абстрактний опис в мові UML або подання властивостей багатьох об'єктів, що однаково структуровані, мають однотипну поведінку та взаємовідносини з об'єктами інших класів.

Клас позначається, як прямокутника, що поділений (у разі необхідності) на розділи.

Між собою класи пов'язані відносинами. Існує кілька видів відносин:

- ставлення асоціацій – відповідає наявності відносин або взаємозв'язків між класами;
- відношення узагальнення – зв'язок між класифікаціями більш загального та більш приватного елементів;
- відношення агрегації – застосовується між кількома класами у випадку, коли один з класів представляє певний елемент, до складу якого входять інші елементи;
- відношення композиції – окремий випадок відношення агрегації, який використовується для специфікації «частина-ціле», у випадку складових частин, що взаємодіють з цілим;
- відношення залежності – семантичне відношення між двома елементами моделі або двома множинами таких елементів.

При побудові діаграми класів використовуються більш широкі можливості мови UML, а саме керуючий клас (IC ППР) – відповідає за

координацію дій інших класів. Діаграма класів по темі дисертаційного дослідження представлена на рис.3.13.

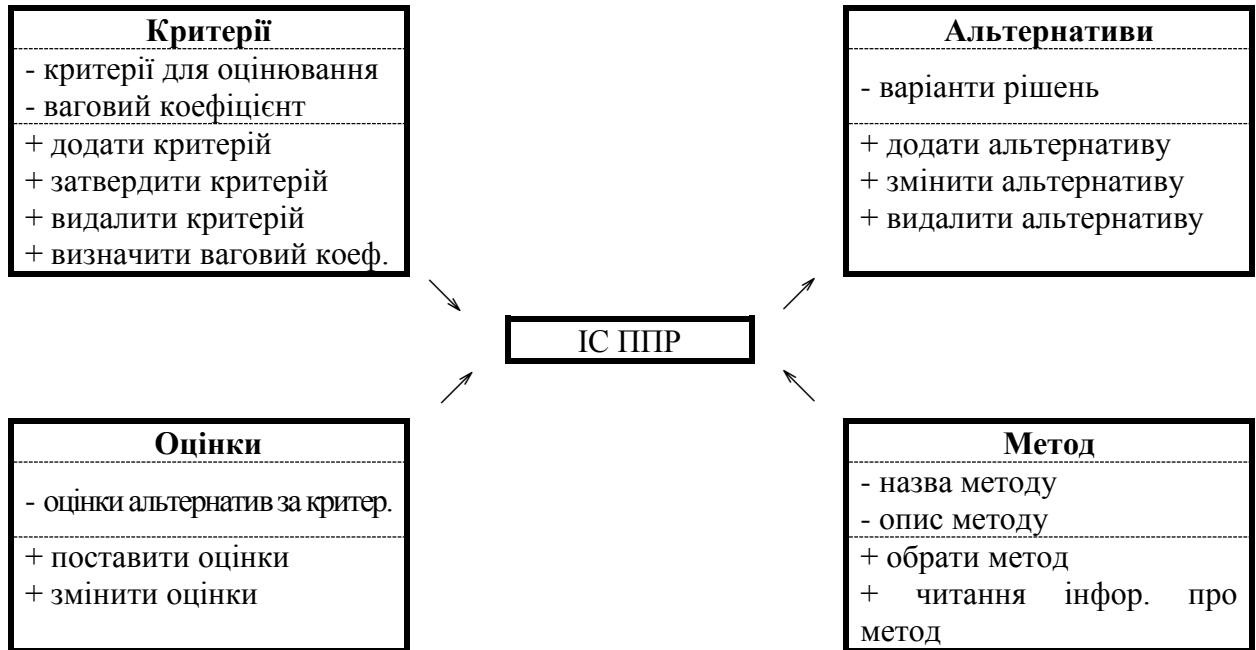


Рисунок 3.13 – Діаграма класів інформаційно\ системи для прийняття рішень

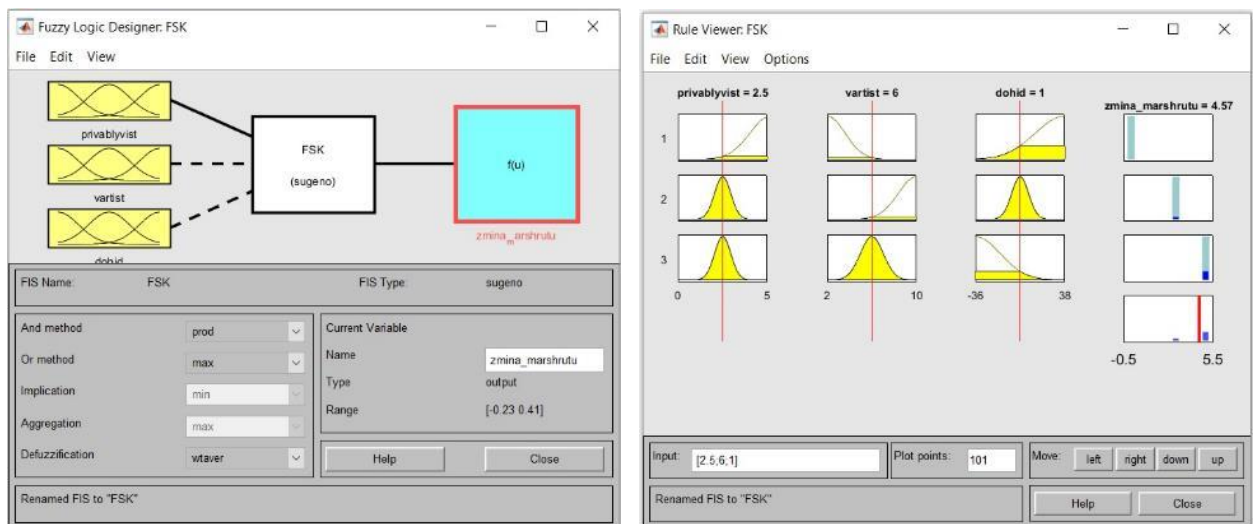
Дана діаграма включає наступні п'ять класів: ІС ППР, критерії, альтернативи, оцінки, метод.

Таким чином, застосування розробленої в розділі інформаційної системи дозволяє автоматизувати процес прийняття рішень при громадському пасажироперевезенні, що враховує думку групи фахівців. Уся інформація зберігається в базі даних і при необхідності можна до неї звернутися та змінити. Результати обробки даних візуалізовані в формах діаграм і звітів, що спрощує їх розуміння. Дана система є прототипом додатку, який можна використовувати на транспортних підприємствах з перевезення пасажирів, при цьому вона може бути автоматизована для виконання усіх необхідних функцій для підтримки прийняття рішень в ситуаційних центрах.

### 3.6. Комп'ютерне моделювання системи підтримки прийняття рішень

Підтвердження ефективності обраних методів побудови СППР та алгоритмів навчання побудованої аналітично нейромережі проводилося шляхом комп'ютерного моделювання системи управління процесом перевезення пасажирів. В якості робочого середовища використовувався математичний процесор MatLab з пакетом розширення Fuzzy Logic Toolbox. У пакеті Fuzzy Logic Toolbox системи MatLAB адаптивна система нейро-нечіткого виведення є гібридною мережу, яка є багатошаровою нейронною мережею спеціальної структури без зворотних зв'язків. В даній мережі використовуються звичайні сигнали, ваги і функції активації, а виконання операції підсумовування ґрунтоване на використанні фіксованої Т-норми, Т-конорми або деякої іншої безперервної операції. При цьому значення входів, виходів і ваг нейронної мережі є речові числа з відрізка  $[0, 1]$ .

Оцінка ефективності використання мережі TSK для управління процесом громадського пасажироперевезення використовує навчальну вибірку, що містить дані про привабливість маршруту, вартість перевезень та прибуток перевізника, рис.3.14.



а.

б.

Рисунок 3.14 – Структурна схема (а) та набір правил (б)

для розроблюваної в розділі СППР для автоматичного управління громадськими пасажироперевезеннями



Навчання нейромережі проводили за допомогою методу TSK (рис. 3.15).

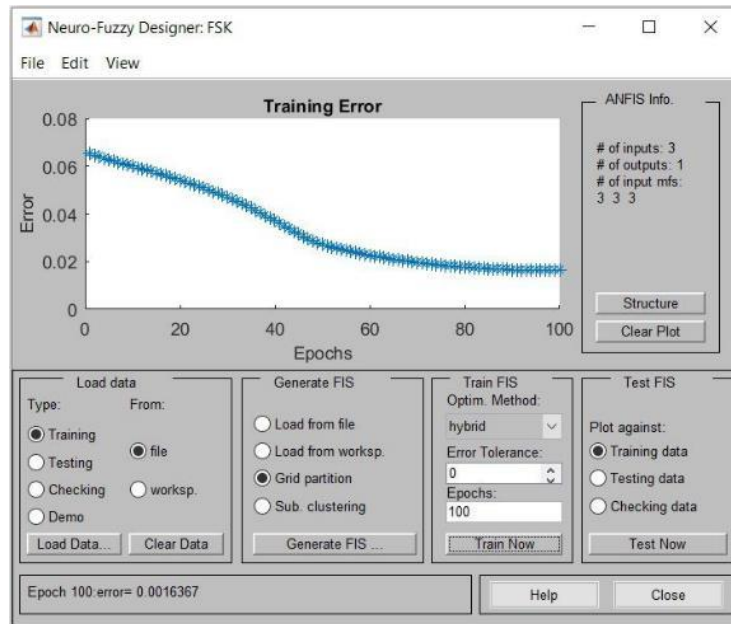
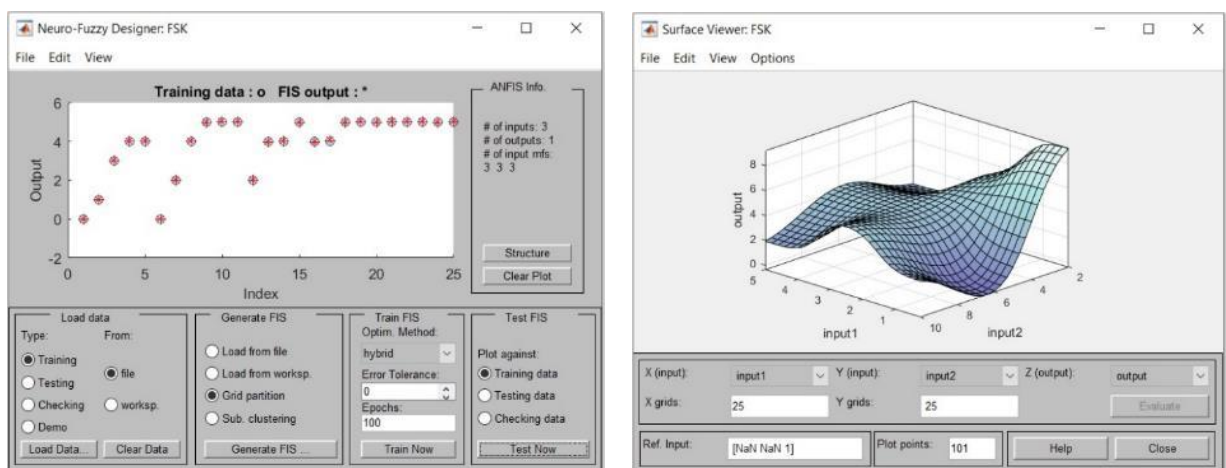


Рисунок 3.15 – Візуалізація еволюції навчання нейромережі алгоритмом TSK

Як можна побачити із рис.3.15, вже після 100 епох навчання отримана помилка навчання склала  $\delta = 1,64 \cdot 10^{-3}$ . З метою визначення адекватності процесу навчання, в пакеті Fuzzy Logic Toolbox проводилася перевірка базових аналітичних даних та даних отриманих в процесі навчання з використанням гаусівської функції належності, а також отримано розподіл похибки навчання, рис.3.16.



а.

б.

Рисунок 3.16 – Порівняння базових аналітичних та даних отриманих при навчанні (а) та зовнішній вигляд поверхні розподілу похибки навчання (б)

В ході досліджень встановлено, що гаусівська функція належності забезпечує найменшу помилку навчання мережі  $\delta$ , що дорівнює  $1,64 \cdot 10^{-3}$ , при числі епох  $N = 100$  в порівнянні з трикутною та трапецієподібною функціями належності, що дають помилку навчання мережі  $\delta$ , відповідно, 0,138 та 0,251 при числі епох  $N$ , 184 та 251, відповідно. Тому підтверджена адекватність та доцільність використання саме гаусівської функції належності при адаптації нейромережевого методу TSK для автоматизації процесу прийняття рішень при громадському пасажироперевезенні.

Комп'ютерне моделювання розроблюваної СППР дозволило побудувати поверхню розподілу відносного (бального) показника, що підтверджує необхідність зміни маршруту від його привабливості, вартості проїзду, тощо, рис.3.17.

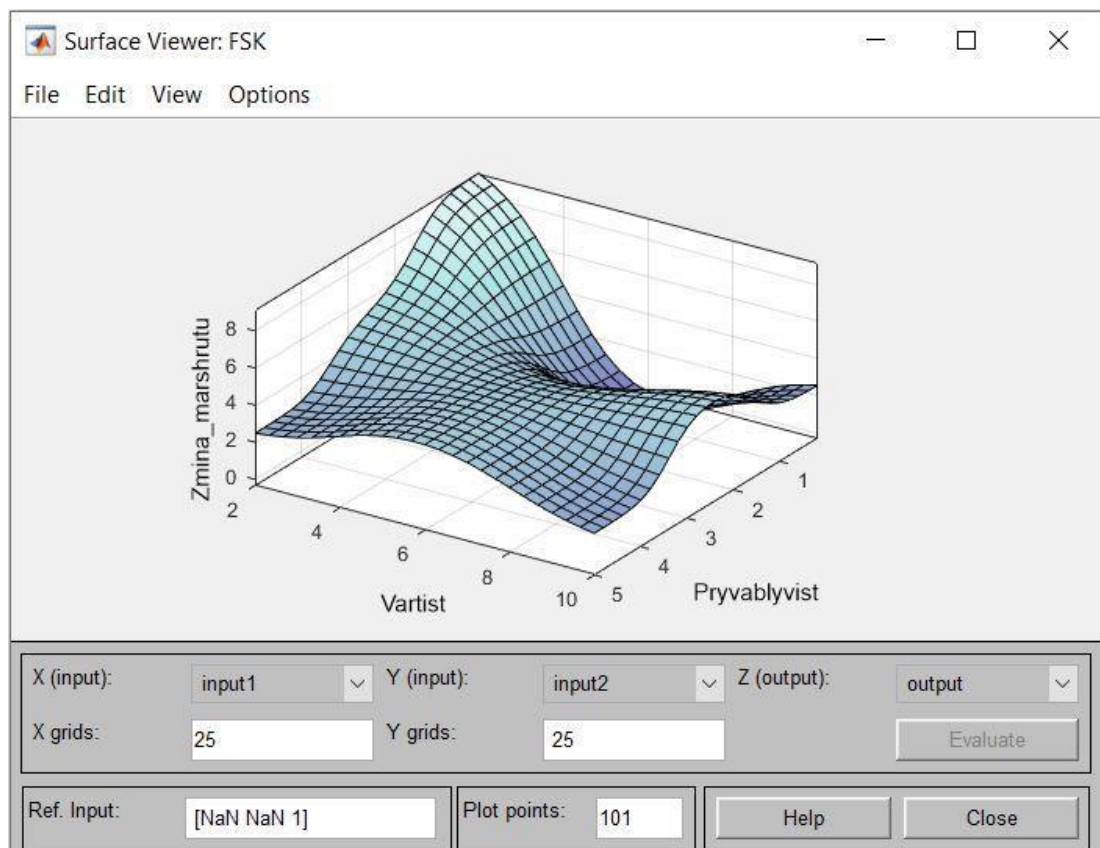


Рисунок 3.17 – Поверхня розподілу необхідності зміни маршруту від показників ефективності цього маршруту (за умов зростання прибутку +5%)

Як можна побачити з рис.3.17, зі зменшенням вартості проїзду та привабливості маршруту, а також незначному зростанні прибутку, необхідність зміни маршруту різко зростає.

Таким чином, на прикладі розробленої моделі СППР для визначення найраціональнішого маршруту при громадських пасажироперевезеннях, встановлено, що ефективним методом навчання нейромережі для управління процесом пасажироперевезення є метод TSK, а раціональною функцією приналежності є гаусівська функція приналежності, що забезпечують мінімальну помилку навчання мережі. Отримані рекомендації щодо використання методів навчання і вибору функцій приналежності дозволяють підвищити ефективність розроблюваної нейро-нечіткої системи управління громадськими пасажироперевезеннями (див. додаток Г).

### 3.7. Оновлення початкової бази нечітких правил

Одержана інформація про пасажиропотік на кожному із міських маршрутів протягом доби надається Управлінню транспорту і зв'язку міста з пропозиціями щодо зміни розкладу руху на кожному із них. Такі дані ілюструються у вигляді погодинних (добових) матриць пасажиропотоків між зупинками або ж графіків пасажиропотоків за кожним маршрутом, де по горизонтальній осі розтерміновано робочий час протягом одного дня, по вертикальній осі – обсяг пасажиропотоку, що претендує на пересування конкретним маршрутом (рис.3.18).

Інформація вивчається та опрацьовується автоматизованою інформаційною системою. За результатами вносяться зміни до розкладу руху: зменшення або збільшення загальної кількості транспортних засобів на маршруті, що призводить до зміни інтервалу руху; заміни транспортних засобів на маршруті автобусами більшої або меншої пасажиромісткості.

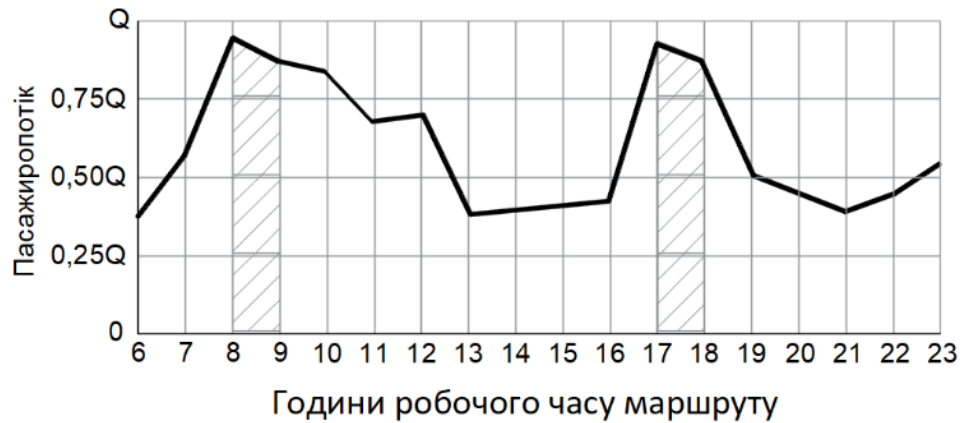


Рисунок 3.18 – Розподіл пасажиропотоків на міському маршруті (на прикладі автобусного маршруту №25) за годинами робочого часу маршруту:  
 $Q$  – відповідає максимальній кількості наповненості пасажирського транспорту на маршруті

Впроваджені зміни досліджувалися на міській території протягом року з наступними фіксуванням пасажиропотоків та збором інформації про привабливість поїздки для пасажирів. У результаті збору таких даних сформувалася нова тестувальна вибірка (див. додаток Д), на основі якої створена нова база правил. Далі знову оновлюються графіки пасажиропотоків за маршрутами. Таким чином утворюється безперервний цикл надходження та опрацювання інформації про пасажиропотоки, що забезпечує постійне оновлення розкладу руху маршрутних транспортних засобів на території міста відповідно до існуючих потреб населення у пересуванні.

3.8. Аналіз експериментальних результатів щодо верифікації методів відновлення даних для системи підтримки прийняття рішень

Для підтвердження ефективності розроблених методів відновлення пропусків та помилкових (втрачених) даних проводилася обробка інформації з наборами статистичних даних, що були отримані з відкритих джерел діяльності автотранспортних підприємств міста Черкаси (табл.3.11). Після

опрацювання статистичної інформації про перевезення пасажирів кожним з громадських маршрутів за робочу зміну виявлені втрачені дані.

Враховувалися такі показники:  $X_1$  – кількість транспортних засобів, що одночасно вийшли на маршрут в одну робочу зміну,  $X_2$  – кількість перевезених за робочу зміну пасажирів,  $P$  – показник привабливості маршруту  $[0; 5]$ . Кількість наборів даних – 12 для усіх громадських маршрутів.

Таблиця 3.11.

Вихідні дані для відновлення втрачених даних на міських пасажирських маршрутах м.Черкаси за робочу зміну

№ з/п	Номер маршруту	Вид маршруту*	$X_1$ , осіб	$X_2$ , осіб	$P$ , бали
1	1	Тр	16	2385	3
2	2	Тр	4	2160	5**
3	3	Тр	8	3523	4
4	7	Тр	16	2420	2
5	8	Тр	1	2240	2**
6	10	Тр	16	2200	3
7	14	Тр	2	2992	2**
8	12	Ав	4	2660	5**
9	20	Ав	34	1980	5
10	25	Ав	30	2268	5
11	31	Ав	32	1452	4
12	115	Ав	28	1500	5

\* Тр – маршрут тролейбусу; Ав – маршрут автобусу

\*\* Набор даних містить помилки та пропуски

Обираючи данні для моделювання, перевірялася ефективність методу на наборі усереднених статистичних даних ( $N_1$ ) і на даних отриманих від реальних автотранспортних підприємств м.Черкаси ( $N_2$ ).

Для перевірки ефективності розглядуваних алгоритмів по відновленню даних скористаємося наступним підходом. Згенеруємо масив втрачених даних (помилки та пропуски) згідно із рівномірним розподілом (але, виходячи з кількості вхідних факторів, не більше одного дефекту в одному

наборі даних) від 1% до 20%. Точність методу оцінювалася, виходячи з формули середньоквадратичного відносного відхилення:

$$\varepsilon = \frac{1}{100} \cdot \sum_{j=1}^{100} \left( \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \left( \frac{g_i - a_i}{a_i} \right)^2 \cdot 100\% \right), \quad (3.29)$$

де  $g_i$  – значення дефекту, отримане шляхом моделювання,  $a_i$  – реальне значення, 100 – кількість експериментів для фіксованої кількості дефектів.

Так, на рис.3.19 показана динаміка середнього відносного відхилення в залежності від відсотку втрачених даних для методу відновлення даних, що базується на генетичному алгоритмі та на еволюційній стратегії.

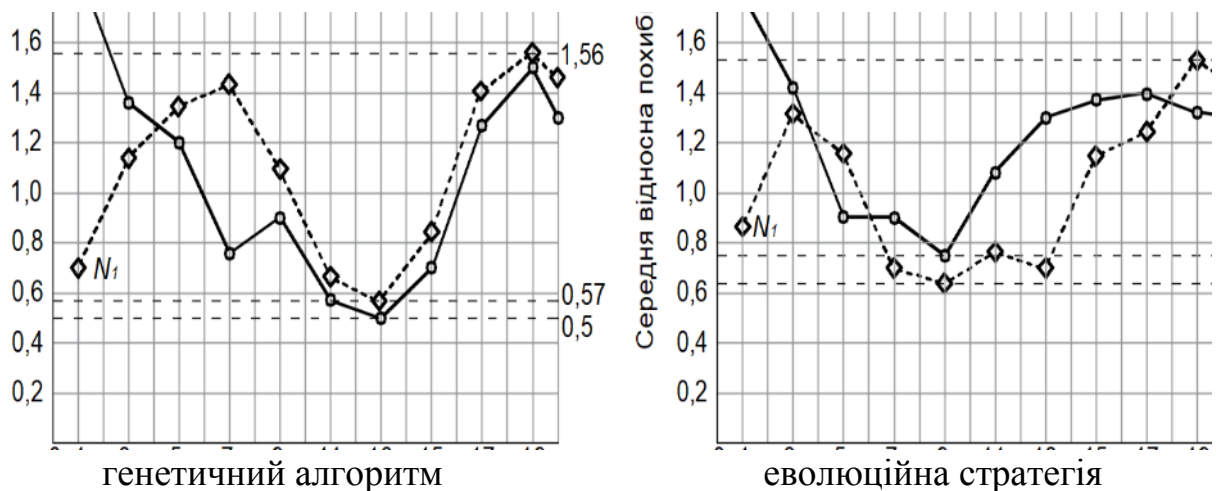


Рисунок 3.19 – Динаміка відносного відхилення при відновленні втрачених даних

Критерієм зупинки пошуку рішення було мале відхилення (0,001) середніх значень цільових функцій сусідніх значень. Встановлено, що при кількості дефектів більше 20% середнє відносне відхилення мало експоненціальне зростання.

### 3.9. Висновки до розділу 3

У розділі розглянуто особливості побудови інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень та виконана експериментальна верифікація наведених результатів. Запропоновано нову інформаційну СППР для автоматизації пасажирських перевезень та безпеки руху для чого розроблена функціональна схема модульної взаємодії в цій системі та встановлена

послідовність обробки даних, включаючи втрачені данні (помилки, викиди та пропущені значення).

Показано особливості формування бази знань та отримано спеціалізовані бази знань на основі інформаційних технологій, що включають в себе базу даних, банк математичних моделей та правила одержання нових знань. Запропоновані експериментальні реалізації правил прийняття рішень, які мають як чітку, так і нечітку структури, а застосування методів штучного інтелекту для забезпечення роботи інформаційної системи підтримки рішень дозволило автоматизувати процес раціонального управління автотранспортними засобами. Аналіз рекомендацій, що містяться в базі знань суттєво збільшує шанси ОПР на прийняття зважених прогресивних рішень.

Виконано ряд експериментів із різнотипними даними, що дозволило дослідити ефективність розробленої інформаційної системи підтримки рішень для автоматизації управління та безпеки руху пасажирським транспортом. Проведені дослідження та результати порівняльного аналізу свідчать про переваги запропонованих методів. Зокрема, при невеликій кількості незалежних факторів (до чотирьох) і невеликій кількості втрачених даних (помилки та пропусків – до 20%) встановлено, що середньоквадратичне відхилення склало від 0,64 до 1,8% для методу, який базується на використанні еволюційної стратегії, та від 0,5 до 1,9% – для генетичного алгоритму, що доводить ефективність запропонованих методів відновлення дефектних даних.

## РОЗДІЛ 4

### РЕЗУЛЬТАТИ РЕАЛІЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕЧНИМ РУХОМ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ МІСЬКИМ ТРАНСПОРТОМ

В розділі доведена необхідність застосування системи автоматичного управління, що дозволяє підвищити ефективність управлінської діяльності. Показано, що реалізація необхідних інформаційно-технічних характеристик, властивостей надійності у комплексі з автоматизацією етапів життєвого циклу шляхом широкого використання інформаційної технології дозволяють виробити і обґрунтувати конструктивний підхід до удосконалення процесів експлуатації, організації контролю та прогнозування пасажироперевезення [141 – 143].

Встановлено, що оптимальними засобами для автоматизації процесів пасажироперевезення є технології телекомунікаційних та інформаційних систем і полягають у створенні автоматичного робочого місця диспетчера транспортного пасажирського підприємства, яким забезпечуються наступні функції: масштабування та навігація по карті; керування режимами відображення карти; підключення даних з кількох інфоресурсів; пошук та редагування об'єктів на карті; автоматизований збір даних по надзвичайній ситуації.

Апробацію системи автоматичного управління безпечним рухом пасажирського транспорту здійснено шляхом застосування інформаційних технологій підтримки прийняття рішень під час перевезення пасажирів в громадському транспорті м.Черкаси. Використання такої технології для систем автоматичного управління і безпеки руху пасажирським транспортом в роботі диспетчерської служби зменшує час прийняття рішень та підвищує ефективність їх роботи.

Запропонована інформаційна технологія пришвидшує збирання даних системою автоматичного управління, оскільки передбачається встановлення



засобів інформатизації та телекомунікації на транспортних засобах та дозволяє швидше обробляти дані чим підвищується достовірність оцінювання привабливості обраного маршруту.

В розділі також наведені практичні рекомендації щодо використання розробленої інформаційної технології в комунальному господарстві міст та в навчальному процесі закладів вищої освіти України.

#### 4.1. Результати дослідження системи автоматичного управління міськими пасажироперевезеннями

В результаті дослідження системи автоматичного управління міськими пасажироперевезеннями в межах міст України була побудована її модель, рис. 4.1, яка дозволяє покращити рівень транспортних перевезень пасажирів шляхом застосування комунікаційно-інформаційних технологій та з урахуванням вимог безпеки і економічних інтересів учасників руху.

В моделі (рис.4.1) пропонується проводити обов'язковий контроль перевезень пасажирів міськими транспортними засобами для подальшого аналізу інформації про маршрут та стан транспортного засобу на основі інформаційних технологій. Модель системи автоматичного управління пасажироперевезень в міському транспорті передбачає здійснення інтелектуальних дій, незалежно від логістичної системи управління проводити аналізування, записування, передавання екстреним службам всі необхідні дані для розроблення рішень попередження і у випадку можливої НС, оперативно відреагувати з наступними можливостями проведення аналізу і експертизи подій. Дана модель системи автоматичного управління пасажироперевезеннями підвищує ефективність системи безпечного перевезення пасажирів та виключає можливість приховування інформації щодо прибутків фірмами перевізниками та логістичними компаніями.

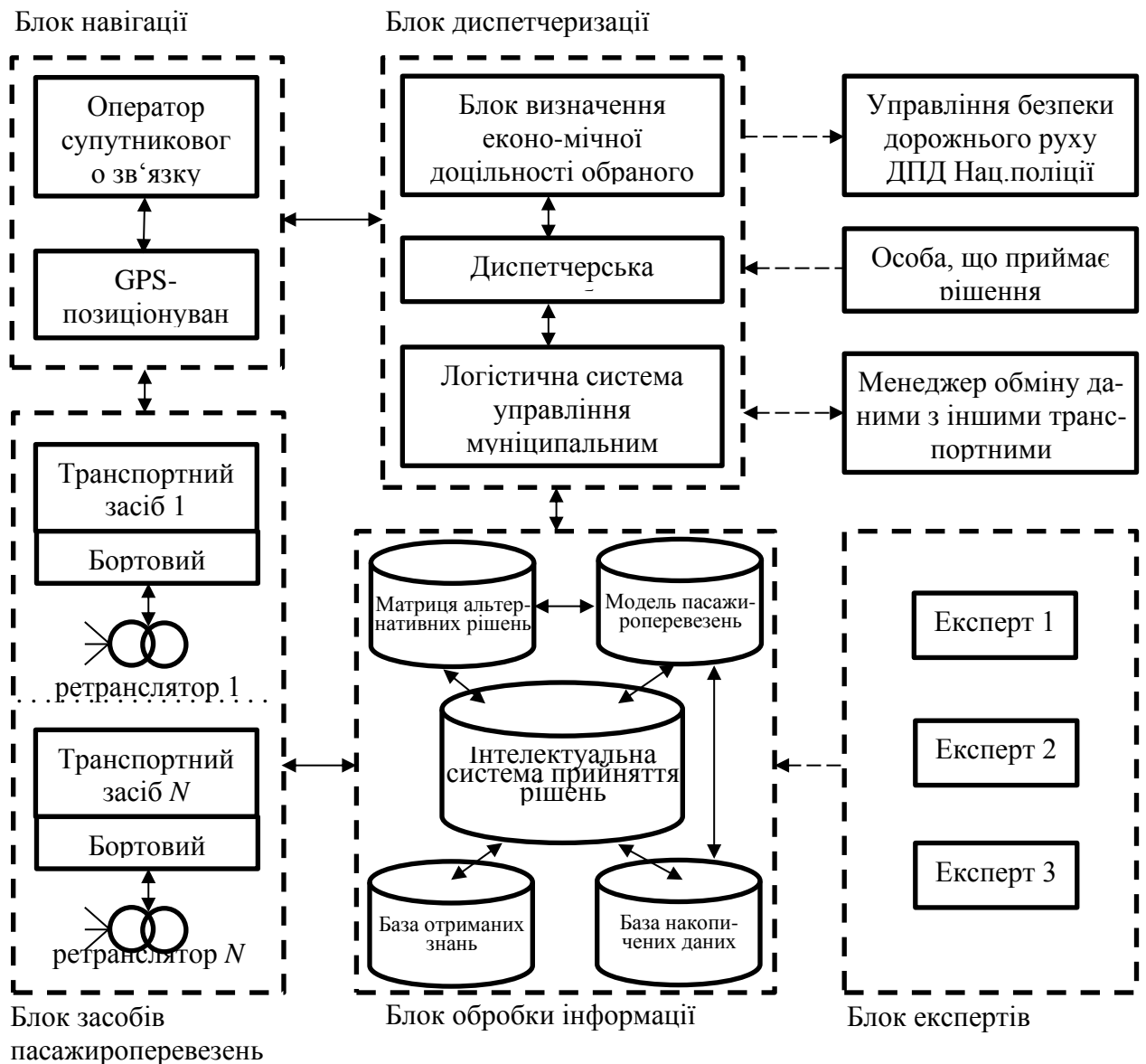


Рисунок 4.1 – Запропонована модель системи автоматичного управління безпечними пасажироперевезеннями в міському транспорті

- односторонній обмін інформацією;  
 ↔ двосторонній обмін інформацією;  
 - - - -> періодичний обмін інформацією

Реалізація інформаційних технологій, що базуються на автоматичних СППР при пасажироперевезеннях допоможе виділити ефективні моделі в процесі прийняття рішень ОПР, покращити обрання раціонального маршруту та зменшити час реагування на НС.

Інтеграція комунікаційно-інформаційних та апаратно-обчислювальних ресурсів у процес прийняття рішень диспетчерами та ОПР дозволить ефективніше аналізувати масиви даних які надходять, прогнозувати

раціональний маршрут та графік руху, а також попередження виникнення та розвитку НС та приймати відповідні оптимальні рішення. Інформаційна СППР, що входить в САУ пасажироперевезеннями використовує дані, моделі яких підтримують процес прийняття рішень ОПР.

Підвищення ефективності пасажироперевезень полягає у використанні сукупності засобів інформаційної техніки і осіб, об'єднаних для досягнення певних цілей, які забезпечують [142, 143]:

1. Підвищення оперативності реагування на потребу зміни маршруту або графіку руху. Скорочення часу відбувається в основному за рахунок таких процесів, як збирання, пошук, попереднє оброблення і передавання оперативної інформації про стан транспортного засобу та маршруту руху, кодування та декодування оперативної інформації, виконання розрахунків, рішення логічних задач, а також оформлення і розповсюдження документів.

2. Зменшення часу, що витрачається на виконання другорядних процесів (визначення завантаженості та привабливості маршрутів, визначення об'їздних маршрутів тощо), інформаційні процеси, які мають допоміжний характер, але потребують значних затрат часу під час отримання та оброблення оперативних даних як від водіїв транспортних засобів, так і від диспетчерів.

3. Зниження часу витрат на оброблення оперативної інформації дозволить вивільнити додаткові ресурси на прийняття оптимальних рішень (організація зв'язку із екстреними службами, запровадження додаткових ресурсів пасажироперевезень).

4. Реалізацію прийняття рішень шляхом аналізування та прогнозування пасажироперевезень за окремими маршрутами за допомогою математичного апарату інформаційних технологій. При цьому вибір оптимальних рішень та їх обґрунтування спираються на людино-машинні системи.

Основний ефект автоматизації досягається за рахунок своєчасності і оптимальності прийнятих рішень.

Таким чином, необхідність у застосуванні системи автоматичного управління обумовлена значним ускладненням процесів управління і носить об'єктивний характер. Створення ІС дозволяє підвищити ефективність управлінської діяльності, а отже, і ефективність використання сил і засобів в сучасних умовах. Приклад реалізації моделі для забезпечення ефективності системи автоматичного управління громадськими перевезеннями пасажирів наведено у Додатку Е.

#### 4.2. Приклад застосування розробленої логістичної системи автоматичного управління

Задача удосконалення методів та методик які забезпечують належний рівень автоматизації процесів підтримки прийняття рішень в системі автоматизації пасажироперевезень потребує постійної уваги. Програмний продукт для підтримки прийняття рішень при громадських пасажироперевезень (на прикладі м.Черкаси) є елементом СППР (Додаток Є).

Показано, що оптимальними засобами для автоматизації процесів, які використовують просторово-розподілені дані є технології телекомунікаційних та інформаційних систем. Для автоматизації збору та обробки даних, які дозволяють правильно спланувати дії при перевезенні пасажирів пропонується використовувати систему підтримки прийняття рішень, яка має містити наступні базові складові (рис.4.2): базу даних; електронну інтерактивну карту м.Черкаси; автоматизоване робоче місце (АРМ) диспетчера транспортного підприємства.

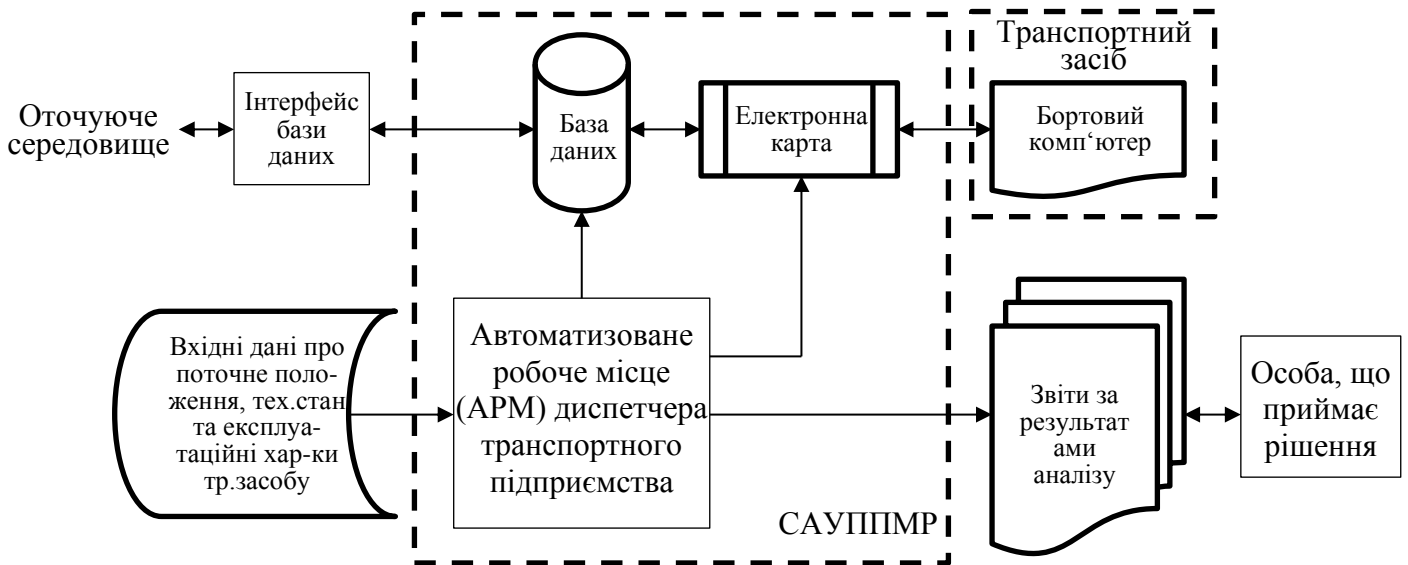


Рисунок 4.2 – Структурна схема системи підтримки прийняття рішень для перевезення пасажирів

Загальна структура бази даних підтримки прийняття рішень для перевезення пасажирів (на прикладі м.Черкаси) приведена на рисунку 4.3.

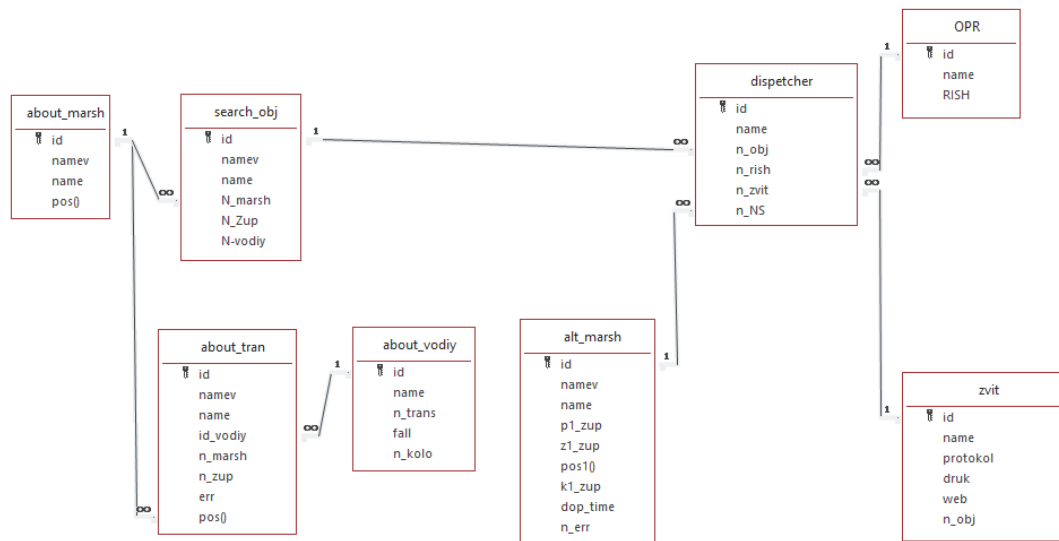


Рисунок 4.3 – Узагальнена структура бази даних системи управління (MS Access)

Елементи САУППІМТ покладені в основу розробленої електронної інтерактивної карти м.Черкаси (рис. 4.4), що містить такі основні об'єкти: межі районів, розподіл зон міста по кількості населення, мережі маршрутів (основних та альтернативних), місць розташування зупинок, деякі соціальні та важливі об'єкти інфраструктури.

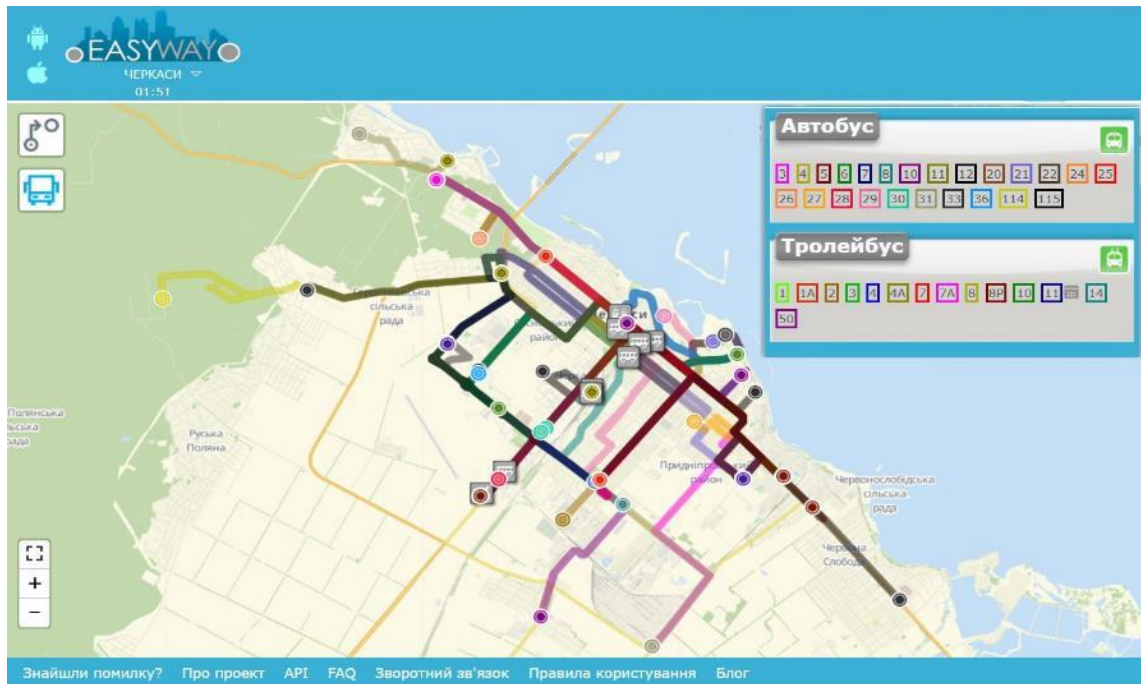


Рисунок 4.4 – Загальний вигляд електронної інтерактивної карти м.Черкаси з основними маршрутами пасажирського транспорту

Для забезпечення функції пошуку оптимальних маршрутів формуються варіанти альтернативних графів доріг (рис. 4.5). Також на електронну карту міста нанесені місця розташування місць та варіанти об'їздів шляхів, де трапилася НС (рис. 4.6).

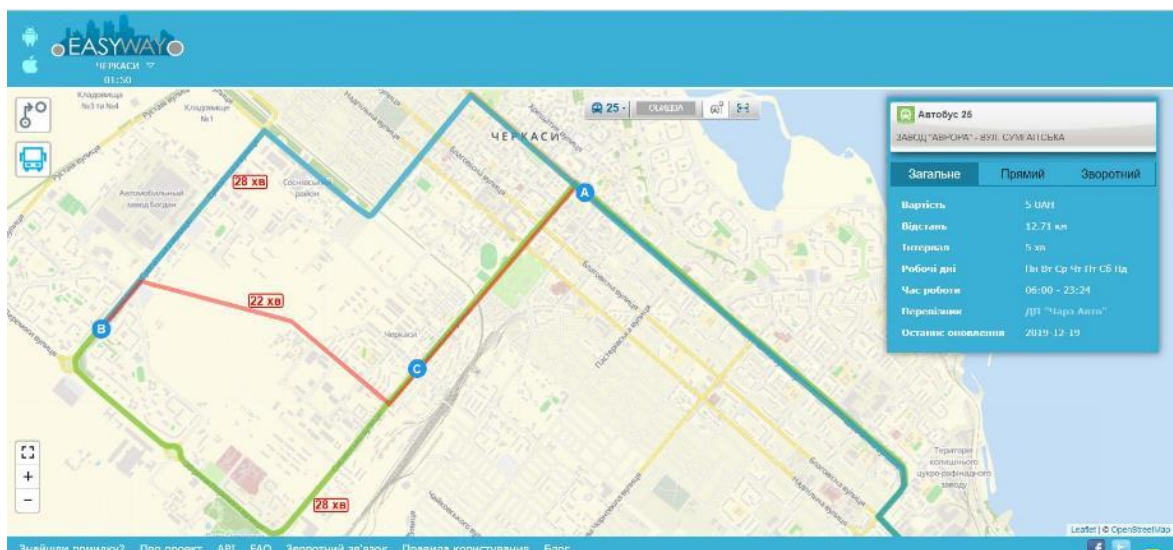


Рисунок 4.5 – Фрагмент сформованого графу доріг (стандартний маршрут автобусу №25 – маршрут В-А та побудований альтернативний маршрут В-С-А)

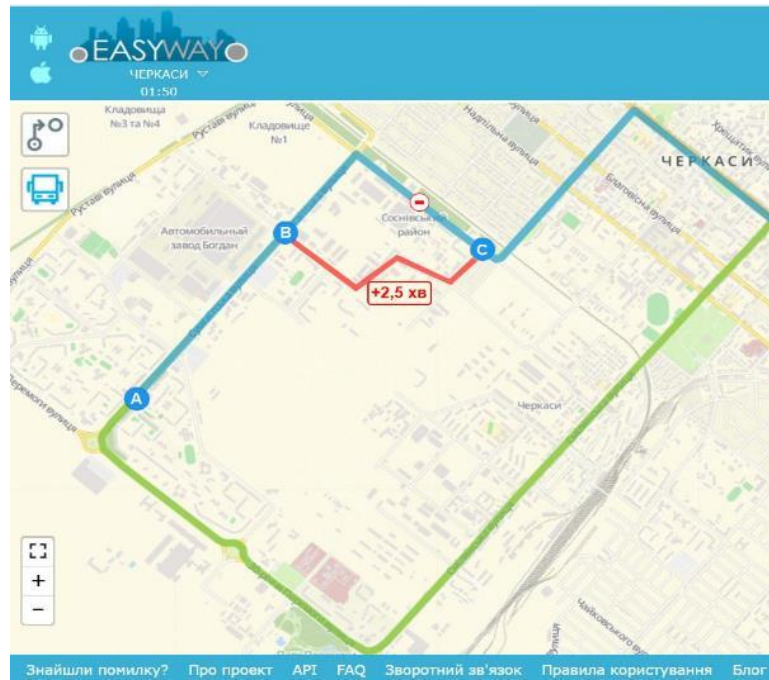


Рисунок 4.6 – Фрагменти сформованого графу альтернативного маршруту на випадок неможливості проїзду основним шляхом внаслідок НС (маршрут об'їзду аварійної ділянки позначено червоним кольором)

Фрагмент сформованого графу доріг (альтернативний маршрут – відхилення від основного маршруту) для розвантаження пасажирських перевезень з інших маршрутів спального району, рис.4.7.

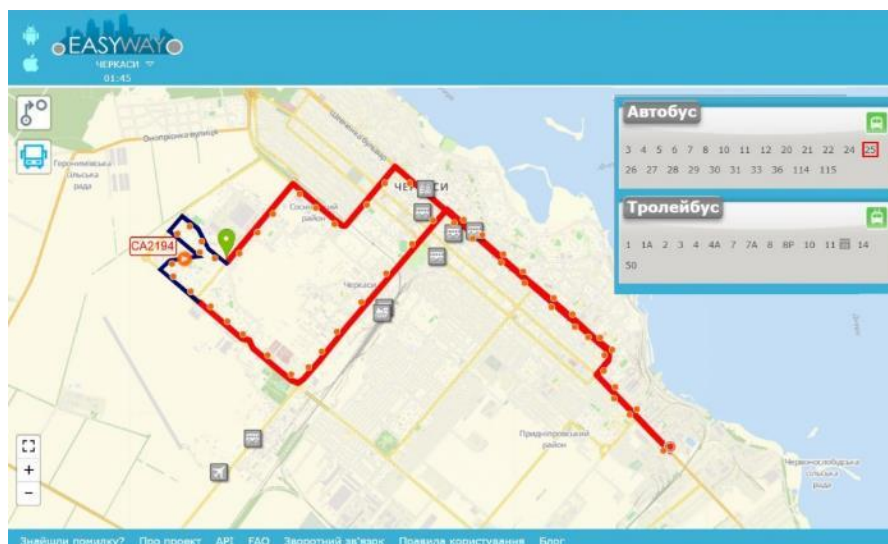


Рисунок 4.7 – Фрагмент сформованого графу доріг для розвантаження пасажирських перевезень з інших маршрутів спального району

Загальний вигляд АРМ диспетчера транспортного підприємства, який одночасно працює з базою даних системи та електронною картою наведено на рисунку 4.8.

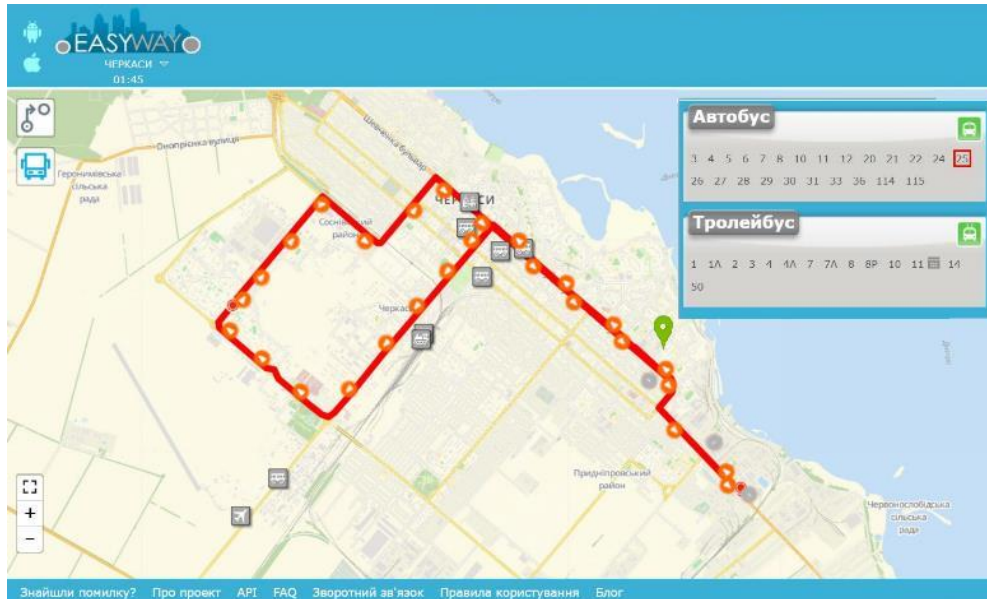


Рисунок 4.8 – Загальний вигляд електронної карти з АРМ диспетчера транспортного підприємства (при активізації автобусного маршруту №25)

АРМ диспетчера транспортного підприємства забезпечує такі основні функції (рис. 4.8): масштабування та навігацію по карті; керування режимами відображення карти; підключення даних з кількох інфоресурсів; пошук об'єктів на карті за їх ідентифікаторами; редагування маршрутів по карті та перерахунок графіку руху; автоматизований збір даних по надзвичайній ситуації.

#### 4.3. Апробація інформаційної технології в системах автоматичного управління безпечним рухом пасажирських перевезень

Апробацію системи автоматичного управління безпечним рухом пасажирського транспорту здійснено шляхом застосування інформаційних технологій підтримки прийняття рішень під час перевезення пасажирів в громадському транспорті м.Черкаси.



Загальний вигляд алгоритму функціонування системи управління АРМ диспетчера транспортного підприємства, який одночасно працює з базою даних системи та електронною картою наведено на рисунку 4.9.

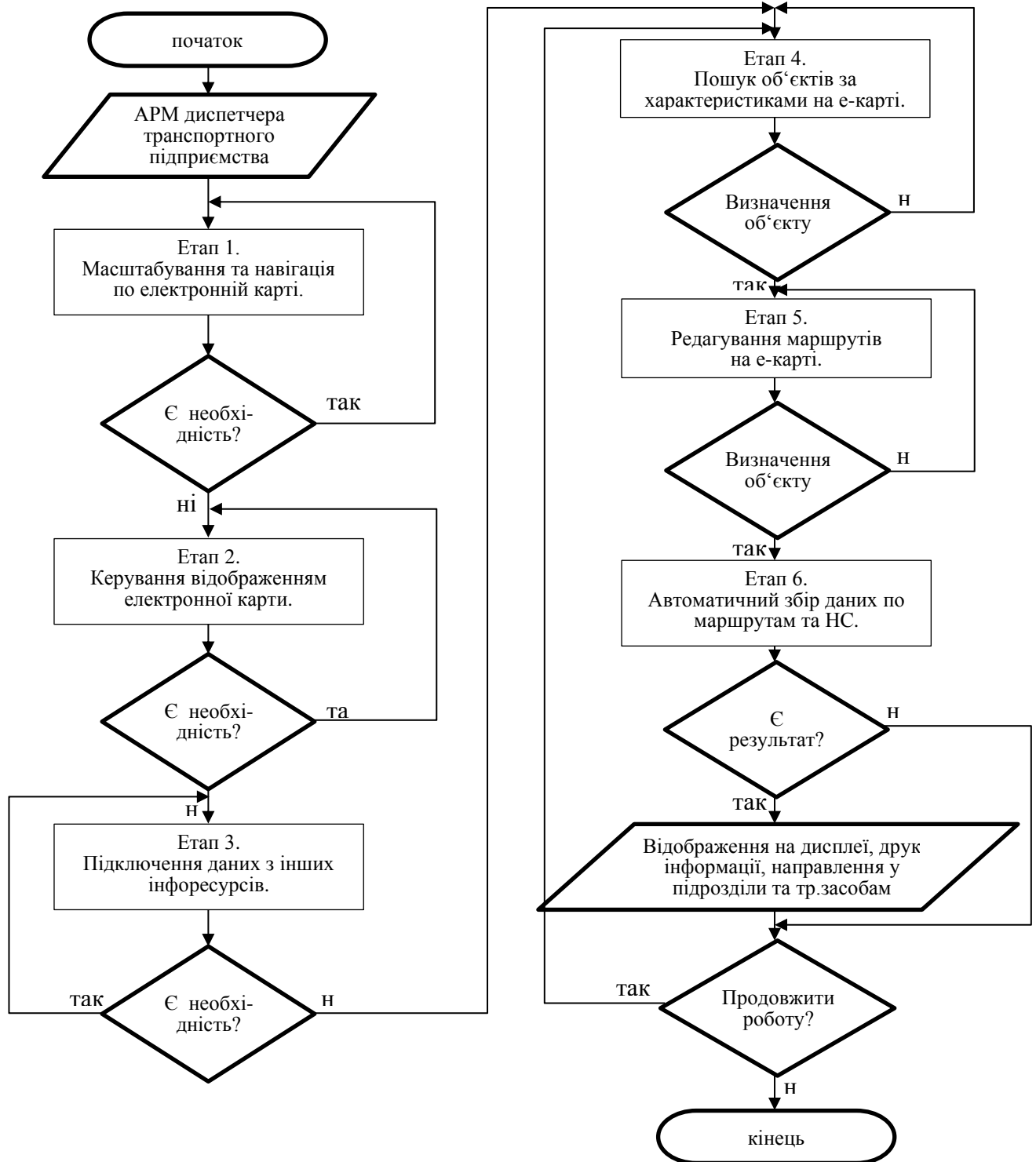


Рисунок 4.9 – Блок-схема алгоритму системи автоматичного управління АРМ диспетчера

Блок – «Автоматизований збір даних» забезпечує:

- введення всіх вхідних даних по маршрутам та графікам пересування транспортного засобу, а також по зафіксованим НС, зазвичай це дані отримані диспетчером в режимі реального часу по телекомунікаційній системі;
- визначення можливих альтернативних маршрутів та нанесення їх на карту;
- визначення найбільш оптимального шляху до найближчої завантаженої зупинки і даних про наявний поблизу неї транспортний засіб, а також визначення оптимального шляху повернення до стандартного маршруту з відображенням шляху повернення на карті;
- формування звіту в MS Excel, що містить: а) зібрану інформацію про маршрути та відхилення від них; б) детальний опис НС; в) відомості про найближчу точку відхилення/повернення на маршрут у разі його змінення.

Якщо найближча зупинка відома і лежить на відомому маршруті немає необхідності проводити пошук найближчої, альтернативної зупинки (місія диспетчера зводиться до відслідковування маршрутів та НС). В іншому випадку, диспетчер має встановити відповідну відмітку на карті для вибору зупинки слідування. В такому разі операція по збору даних буде проведена набагато швидше і буде знайдено оптимальний (мінімальний) шлях проїзду до вказаної зупинки.

Для задання альтернативного маршруту внаслідок НС диспетчеру необхідно вказати його натисненням миші на карті (лівою клавішею) після чого буде здійснена побудова альтернативного маршруту та додаткових зупинок, рис. 4.10.

На рисунку 4.11 приведено приклад побудованого оптимального шляху раціонального об'їзду місця НС (аварія, затор, тощо) до найближчої зупинки за маршрутом транспортного засобу та друку оптимального шляху необхідно зробити знімок екрану і зберегти його використовуючи наявний на ПК графічний редактор.



Рисунок 4.10 – Фрагмент сформованого внаслідок НС графу альтернативного маршруту А-В-С з п'ятьма додатковими зупинками

Використання інформаційної технології для систем автоматичного управління та безпеки руху пасажирським транспортом в роботі диспетчерської служби зменшує час прийняття рішень та підвищує ефективність їх роботи.

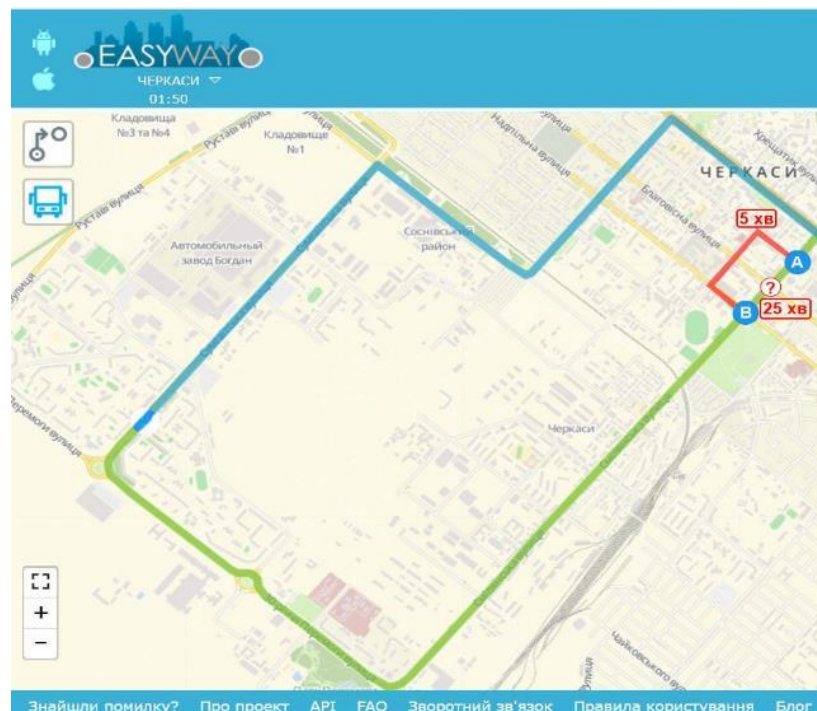


Рисунок 4.11 – Приклад оптимального шляху об'їзду місця НС до найближчої зупинки за маршрутом транспортного засобу

#### 4.4. Визначення ефективності реалізації інформаційної технології

Визначення ефективності реалізації інформаційної технології при оцінюванні привабливості обраного маршруту запропоновано здійснювати на основі наступного критерію:

$$E = \omega_1 K_M + \omega_2 K_E, \text{ де } \omega_1 + \omega_2 = 1, \quad (4.9)$$

де  $\omega_1$  та  $\omega_2$  — вагові коефіцієнти окремих етапів інформаційної технології;  $K_M$  і  $K_E$  — коефіцієнти ефективності на етапі прогнозування та етапі оцінювання привабливості обраного маршруту, відповідно:

$$K_M = \sqrt[3]{\omega_{11} T_{M1} \cdot \omega_{12} T_{M2} \cdot \omega_{13} D_M}, \quad K_E = \sqrt[3]{\omega_{21} T_{E1} \cdot \omega_{22} T_{E2} \cdot \omega_{23} D_E}, \quad (4.10)$$

де  $\omega_{ij}$  — вагові коефіцієнти окремих характеристик етапів інформаційної технології,  $\sum_{ij} \omega_{ij} = 1$ ;  $T_{M1}$ ,  $T_{E1}$  — величини, які характеризують сумарну тривалість підготовчих операцій на етапі прогнозування та на етапі оцінювання, відповідно:  $T_M = 1/t_{m1}$ , де  $t_{m1}$  — час, витрачений на підготовку до прогнозування, год.,  $T_{E1} = 1/t_{e1}$ , де  $t_{e1}$  — час, витрачений на підготовку до оцінювання, год.;  $T_{M2}$ ,  $T_{E2}$  — величини, які характеризують тривалість прогнозування та оброблення даних під час оцінювання, відповідно:  $T_{M2} = 1/t_{m2}$ , де  $t_{m2}$  — час, витрачений на проведення прогнозування, год.,  $T_{E2} = 1/t_{e2}$ , де  $t_{e2}$  — час, витрачений на оброблення даних при оцінюванні, год.;  $D_M$ ,  $D_E$  — достовірність зібраних даних при прогнозуванні та достовірність отриманих результатів оцінювання, відповідно.

Достовірність вибірки зібраних даних прогнозування по відношенню до генеральної вибірки пропонується розраховувати відомим способом [143], а саме за допомогою  $t$ -критерія Стьюдента.

Розроблена програмно-інформаційна система порівнювалась з найпоширенішими програмними продуктами, які є на ринку, а також використовуються транспортними перевізниками України (табл. 4.1):

- «Система оперативно-диспетчерського управління (СОДУ).
- CAMEO (Computer-Aided Management of Emergency Operations)
- ALOHA Software (US Environmental Protection Agency).

Таблиця 4.1. – Порівняння систем автоматичного управління пасажирським транспортом

Програма	Операційна система	Необхідність придбання програми	Необхідність підключення до мережі Internet	Можливість редагування бази даних	Можливість редагування карти місцевості	Можливість пошуку об'єктів на карті	Побудова оптимального шляху проїзду	Формування звіту	Ціна продукту, грн
Система оперативно-диспетчерського управління (СОДУ)	Windows від XP до Win10	Так	–	Так	Ні	Так	Ні	MS Excel	38 тис. (в рік)
CAMEO ALOHA	Windows від XP до Win10	Ні	Ні	Ні	Ні	Так	Ні	MS Excel	Безкоштовно
Розроблювана програмно-інформаційна система	Windows від XP до Win10	Ні	Так	Так	Так	Так	Так	MS Excel	Безкоштовно

Порівняння програмних продуктів проводилось по цільовим критеріям використання в практичній діяльності:

1. Операційна система на якій працює програмний продукт: більшість транспортних організацій, які надають послуги з перевезення пасажирів в своїй діяльності використовують комп'ютери, які в переважній більшості працюють на операційній системі «Windows» від версії XP до 10 версії програми.

2. Відсутня необхідність придбання ядра програми та додаткових модулів: основні програмні продукти, які представлені в даній галузі, потребують використання в роботі додаткових модулів програми для повноцінного функціонування та вирішення задач (розрахунку альтернативних маршрутів, бази даних та знань, прогнозування та моделювання, оцінки ризику).

3. Необхідність підключення до мережі Інтернет для відображення електронної карти: використання ГІС технологій в роботі програмних

продуктів пов'язане з візуалізацією положення транспортних засобів у вигляді електронних інтерактивних карт, для відображення яких виникає необхідність підключення до мережі Інтернет. Програмні продукти для відображення і доступу до географічної інформації використовують веб-сервіси.

4. Наявність бази даних стандартних маршрутів та місцевих перевізників: даний тип інформації, визначений цільовим використанням продукту для потреб диспетчерської служби.

5. Можливість редагування користувачем бази даних: внесення змін до баз даних (знань) стандартних та альтернативних маршрутів, нормативних документів, а також засобів пасажироперевезення.

6. Можливість редагування користувачем електронної карти місцевості: нанесення додаткової інформації на карту місцевості (об'єкти інфраструктури, розташування зупинок, нанесення оперативної інформації НС).

7. Можливість пошуку об'єктів на електронній карті: пошук за власною назвою об'єкта для швидкості орієнтування на електронній карті.

8. Побудованого оптимального шляху проїзду між пунктами призначення.

9. Формування звіту диспетчера: дані про пасажироперевезення, відомості про графік руху транспортних засобів, дані про завантаженість транспортного засобу та окремих транспортних вузлів шляхопроводу.

10. Ціна: більшість програмних продуктів комерційні та потребують значних фінансових вкладень від користувачів (придбання ядра програми, придбання додаткових модулів програми, щорічне придбання ліцензії для відновлення роботи програми).

Ефективність інформаційної технології програмно-інформаційної системи управління полягає в цільовому використанні продукту для потреб диспетчерських служб автотранспортних підприємств, визначеній доступності продукту, точності прогнозування, моделювання процесів

(ефективності, продуктивності оптимального маршруту та його автоматизації), використанні бази знань, яку можна редагувати оператором, самообслуговуванням та індивідуальним сервісом (редагування інтерактивної карти, з доповненням важливої оперативної інформації) та економічною обґрунтованістю використання даного програмного продукту.

Таким чином запропонована інформаційна технологія дозволяє швидше збирати дані системою автоматичного управління, оскільки передбачається встановлення інформаційно\ системи на транспорті та дозволяє швидше оброблювати дані за рахунок автоматизації процесу експертного оцінювання з використанням веб-сервісів і геопорталів. Але головною перевагою розробленої інформаційної технології є підвищення достовірності оцінювання привабливості обраного маршруту у разі використання прогнозованих даних, для чого запропоновані методи математичної обробки даних, що дозволяють більш точно врахувати вплив кожного параметру, що впливає на привабливість того чи іншого маршруту, а отже провести більш точне ранжування цих параметрів.

4.5. Практичні рекомендації щодо використання розробленої інформаційної технології в комунальному господарстві міст та в навчальному процесі закладів вищої освіти України

Основне призначення та галузі застосування результатів дисертації:

1. Пасажирське господарство – створення інформаційної системи підтримки рішень для автоматизації міських пасажирських перевезень та безпеки руху, чим підвищити якість обслуговування пасажирів.
2. Транспортні технології – проектування логістичних систем управління транспортом, що характеризують багатопотокові транспортні процеси і системи на місцевому, регіональному, загальнодержавному рівнях та побудовані на базі сучасних інформаційно-комп'ютерних технологій.

Для широкого застосування результатів дисертаційної роботи в пасажирському господарстві міст України рекомендується:

1. На основі цільової програми системи автоматичного управління процесом перевезення пасажирів сформувавши системні вимоги і «дерева критеріїв» системної ефективності функціонування; створювати СППР, банка моделей ППР та комплексу технічних засобів; розроблювати інформаційні технології для систем автоматичного управління громадськими перевезеннями пасажирів з урахуванням контролю та прогнозування оптимальних маршрутів за різних ситуацій.
2. Розраховувати можливі альтернативні та аварійні маршрути руху транспортних засобів, що дозволить підвищити швидкість прийняття рішень під час ситуаційного направлення додаткових транспортних засобів та створення безпечних альтернатив маршруту для розвантаження перевантажених районів міста до місця призначення з координацією в автоматичному режимі з диспетчерськими службами.

Окремі результати дисертаційної роботи (а саме, логістична система управління міським пасажирським транспортом, яка побудована на базі сучасних інформаційно-комп'ютерних технологій і характеризує розгалужені багатопотокові транспортні процеси та системи в межах міст) були впроваджені у господарство пасажирських перевезень м.Черкаси (додаток Ж). На практиці, це призвело до скорочення логістичних витрат на 10 – 18% та дозволило знизити витрати і вартість послуг на 8 – 12%.

В навчальний процес закладів вищої освіти України були впроваджені такі результати дисертаційної роботи:

1. Динамічна модель пасажирських перевезень міським пасажирським транспортом та алгоритми її реалізації;
2. Алгоритми гнучкої маршрутизації транспортних пасажироперевезень за допомогою телекомунікаційно-навігаційних комп'ютерних технологій;
3. Практичні рекомендації по використанню інформаційної технології організації логістичних систем автоматизованого управління міським пасажирським транспортом.

Окремі результати дисертаційної роботи були впроваджені в курс дисциплін "Електронне та електричне обладнання автомобілів", "Автоматизація виробничих процесів на автотранспорті" ЧДТУ у вигляді контрольних, лабораторних робіт та курсу лекцій.



#### 4.6. Висновки до розділу 4.

1. Отримала подальший розвиток інформаційна технологія підтримки прийняття рішень для забезпечення пасажироперевезень на основі впровадження запропонованих методів, моделей та засобів, а також показників оцінки якості шляхом додаткового використання та поєднання інформаційних ресурсів, що забезпечило візуалізацію процесів прийняття рішення в багатофакторній системі управління та безпеки руху міським пасажирським транспортом.

2. Підвищення ефективності системи забезпечення автоматичного управління та безпеки транспортування пасажирів є елементом національної задачі, яка вирішується на основі: розроблення цільової програми системи автоматичного управління процесом перевезення пасажирів; формування системних вимог і «дерева критеріїв» системної ефективності функціонування; створення системи підтримки прийняття рішень, банку моделей підтримки прийняття рішень та комплексу технічних засобів; створення інформаційно-комунікаційних технологій для систем автоматичного управління громадськими пасажироперевезеннями з можливого прогнозування оптимальних маршрутів за різних ситуацій.

3. Система автоматичного управління міськими пасажирськими перевезеннями дозволяє одержувати і реалізовувати оптимальні управлінські рішення на основі принципів формування інформаційно-виробничої структури інформатизації процесів діяльності диспетчерської служби транспортного підприємства: цілісності, моделюємі, цілеспрямованості, системної ефективності та логіко-інформаційної реалізуємі.

4. Розроблена модель інформаційної технології логістичної системи автоматичного управління транспортними перевезеннями пасажирів, що дозволяє розраховувати можливі альтернативні та аварійні маршрути руху транспортних засобів пасажироперевезення, чим дозволить підвищити швидкість прийняття рішень під час ситуаційного направлення додаткових транспортних засобів та створення безпечних альтернатив маршруту для розвантаження перевантажених районів міста до місця призначення з координацією в автоматичному режимі з диспетчерськими службами.

## ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі проведено теоретичне узагальнення і отримане нове рішення наукового завдання розроблення інформаційної технології організації логістичних систем автоматизованого управління безпечними пасажирськими перевезеннями міським транспортом, що відповідає меті та задачам дослідження і відображене в науковій новизні.

1. Вперше створено нову динамічну модель пасажирських перевезень громадським транспортом в межах міста, в основі якої покладено нейронну мережу, що базується на методі довгої короткострокової пам'яті (LSTM) і яка, на відміну від існуючих, використовують механізм нечіткого виведення за Мамдані, повну базу правил, сформованих на трикутних (вхідних) і гаусівських (вихідних) функціях належності та центроїдний метод дефазифікації, а також графо-аналітичні засоби, що входять у додаток нечіткого виведення Fuzzy Logic Toolbox математичного процесору MATLAB, чим дозволяє здійснювати гнучкий пошук маршрутів транспортних засобів з використанням телекомунікаційно-навігаційних комп'ютерних технологій та враховуючи вимоги безпеки і економічні інтереси усіх учасників руху (обрання менш завантаженого шляху за умов зменшення часу проїзду до кінцевого пункту призначення на 15 – 22% та економічної рентабельності обраного маршруту (індекс рентабельності  $PI = 3,54 – 7,91$ ).

2. Розроблена нова модель інформаційної технології логістичної системи автоматизованого управління транспортними перевезеннями пасажирів, що дозволяє розраховувати можливі альтернативні та аварійні маршрути руху транспортних засобів пасажироперевезення, чим дозволить підвищити у 2,5 – 3 рази швидкість прийняття рішень під час ситуаційного направлення додаткових транспортних засобів та створення безпечних альтернатив маршруту для розвантаження перевантажених районів міста до місця призначення з координацією в автоматичному режимі з диспетчерськими службами.

3. Удосконалено метод проектування логістичної системи управління

міським пасажирським транспортом, який ґрунтується на теорії транспортної логістики в пасажирських перевезеннях і на відміну від існуючих, дозволяє охарактеризувати розгалужені багатопотокові транспортні процеси і системи в межах міст та побудований на базі сучасних інформаційно-комп'ютерних технологій, що на практиці призводить до скорочення логістичних витрат на 10 – 18% та дозволяє знизити витрати і вартість послуг на 8 – 12%.

4. Удосконалено інформаційну систему підтримки прийняття рішень для автоматизації пасажирських перевезень та безпеки руху, в основі якої лежать логістичні системи управління пасажирським транспортом, запропоновані методи, моделі та засоби шляхом додаткового використання та поєднання інформаційних ресурсів, яке забезпечило візуалізацію процесів прийняття рішення в багатофакторній системі управління та безпеки руху громадським транспортом, що дозволило підвищити якість обслуговування пасажирів (зменшити навантаженість транспортних засобів на громадських маршрутах з 85 – 100% до 45 – 65%, розвантажити найбільш заселені райони міста).

5. На основі інформаційних технологій, запропоновано метод отримання спеціалізованих баз знань шляхом застосування елементів штучного інтелекту на базі нечітких нейронних мереж для забезпечення роботи інформаційної системи підтримки прийняття рішень, що привели до автоматизації процесу раціонального управління пасажирськими транспортними засобами для безпечних перевезень пасажирів.

6. Вперше експериментально доведено, що ефективність розробленої інформаційної системи підтримки прийняття рішень для автоматизації системи управління та безпеки руху міським пасажирським транспортом полягає в цільовому використанні результатів наукового дослідження для потреб диспетчерських служб громадських транспортних підприємств, визначеній доступності цих результатів, точності пошуку (похибки визначення найбільш раціонального маршруту методом LSTM не перевищувала 1,7%), моделювання процесів (ефективності раціонального маршруту та його автоматизації), використанні баз знань (при чотирьох незалежних факторах та невеликим обсягом втрачених даних (до 20%))

середньоквадратичне відхилення склало від 0,5 до 1,9%), яку можна редагувати оператором, самообслуговуванням та індивідуальним сервісом (редагування інтерактивної карти, з доповненням важливої оперативної інформації) та економічною обґрунтованістю використання даного програмного продукту.

7. Розроблено та впроваджено у комунальне господарство окремих міст України рекомендації по використанню розробленої інформаційної технології організації логістичних систем автоматизованого управління міським пасажирським транспортом. Основні результати дисертаційної роботи знайшли практичне застосування на вітчизняному автотранспортному підприємстві (ДП «Чарз-Авто», м.Черкаси), а також використовуються в навчальному процесі кафедри комп'ютерних наук та системного аналізу і кафедри автомобілів та технології їх експлуатації Черкаського державного технологічного університету в курсі дисциплін "Системи аналітичної обробки даних", "Інтелектуальний аналіз даних", "Електронне та електричне обладнання автомобілів", "Автоматизація виробничих процесів на автотранспорті".

Отримані результати дозволили підвищити якість (зменшити наповненість салонів транспортних засобів на міських маршрутах з 85 – 100% до 45 – 65%, середню тривалість очікування пасажирів на зупинці з 12 – 15 до 5 – 8 хвилин) та ефективність обслуговування пасажирів міського транспорту (збільшити індекс економічної рентабельності проекту з 1,13 до 7,91; збільшити швидкість збирання даних системою автоматизованого управління у 1,5 – 2,2 рази та зменшити похибку визначення найбільш раціонального маршруту методом LSTM до 1,7%). Саме комплексне застосування цих показників дозволяє покращити комфортність, безпеку та привабливість користування міським пасажирським транспортом.

В якості перспектив подальших досліджень, які можуть бути здійснені в напрямку даної дисертаційної роботи слід зазначити застосування штучного інтелекту для диспечеризації та узгодженості пасажирських перевезень різними маршрутами, що, в цілому, дозволить мінімізувати час доїзду людини до будь-якого посадкового майданчика міста.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. В.П. Ільчук, О.І. Панченко, О.В. Шишкіна, та інші, *Комплексний аналіз транспортної мережі міста: системно-аналітичний підхід*. Чернігів, Україна: ЦНТІ, 2014.
2. Г.С. Григор'єв, "Суть ринку автотранспортних послуг в сучасних умовах господарювання", *Проблеми підвищення ефективності інфраструктури*, Вип. 3, с. 207-212, 1998.
3. *Автомобільний транспорт в Україні. Нормативна база*. Київ, Україна: КНТ, АТІКА, 2004.
4. Г.А. Варелопупо, *Организація движенья и перевозок на городском пассажирском транспорте*. Москва, РФ: Транспорт, 1990.
5. А.В. Присяжнюк, "Адміністративно-правове забезпечення пасажирських перевезень автомобільним транспортом в Україні", дис. канд. юрид. наук, Одеса, Украина, 2016.
6. В.П. Гудкова, "Забезпечення ефективної діяльності підприємств пасажирського транспорту в умовах соціально орієнтованої економіки", автореф. дис. докт. екон. Наук, Київ, Україна, 2015.
7. Державна Служба України з безпеки на транспорті [Електронний ресурс]. Доступно: <https://goo.gl/a82Hrz>. Дата звернення: Вер. 08, 2018.
8. М.Борисенко, "Міський транспорт у контексті життя городян України 20-30-х років 20 століття", *Пам'ять століть. Планета*, №3 (72), с. 232, 2008.
9. Дев'ять тенденцій розвитку городского транспорта в ближайшем будущем: за станом на 19 квітня 2018 р. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://daily.afisha.ru/brain/5340-9-trendov-gorodskogotransporta-blizhayshego-buduschego>. Дата звернення: Вер. 08, 2018.
10. С. Кострюков, "Правовий статус пасажира при перевезенні міським електричним транспортом" [Електронний ресурс]. Доступно: [goo.gl/Nt4rK](https://goo.gl/Nt4rK). Дата звернення: Вер. 10, 2018.

11. Ціни на батареї для електромобілів впали на 80% за 6 років [Електронний ресурс]. Доступно: <http://ecoautoinfo.com/statti/cini-na-batarei-dlyaelektro-mobiliv-vpali-na-80-za-6-rokiv.html>. Дата звернення: Вер. 10, 2018.
12. К.В. Маринцева, *Пасажирські перевезення*. Київ, Україна: Вид-во "НАУ-друк", 2009.
13. В.К. Доля, *Пасажирські перевезення*. Харків, Україна: Вид-во «Фор», 2011.
14. Я. Цибулка, *Качество пассажирских перевозок в городах*. Москва, РФ: Транспорт, 1987.
15. П.Ф. Горбачов, та В.М. Чижик, "Дослідження часу очікування пасажирів на зупиночних пунктах міського пасажирського транспорту", *Автомобильный транспорт*, Вип. 30, с. 134-138, 2012.
16. В.С. Маруніч, Л.Г. Шморгун, та інші, *Організація та управління пасажирськими перевезеннями*. Київ, Україна: Міленіум, 2017.
17. Directive on the Control of Major accident hazards Involving Dangerous Substances (SevesoIII) (Eng) [Електронний ресурс]. Доступно: <http://euroeastcp.eu/ru/eu-documents.html>. Дата звернення: Лист. 26, 2018.
18. В.В. Аулін, та Д.В. Голуб, "Якість перевезень пасажирів як невід'ємна частина транспортного процесу", *Вісник КДПУ ім. М.Остроградського*, №5 (52), Ч.2, с. 80-84, 2008.
19. Л.Е. Басовський, и В.Б. Протасьев, *Управление качеством*. Москва, РФ: ИНФРА-М, 2000.
20. А.Е. Колесников, "Моделирование и оптимизация автоматизированного управления дорожным движением для городской уличной сети", автореф. дис. канд. техн. наук, Одесса, Украина, 2004.
21. О.В. Грицунов, *Інформаційні системи та технології*. Харків, Україна: ХНАМГ, 2010.

22. В.М. Олуйко, *Інструменти розвитку об'єднаних територіальних громад в умовах децентралізації влади*. Київ, Україна: Ваїте, 2017.
23. В.О. Алексієв, *Управління розвитком транспортних систем*. Харків, Україна: ХНАДУ, 2008.
24. Л.Є. Довгань, Ю.В. Каракай, та Л.П. Артеменко, *Стратегічне управління*. Київ, Україна: Центр учбової літ-ри, 2009.
25. І.Є.Корольчук, О.П.Пидоченко, та В.В.Біліченко, "Вдосконалення маршрутної мережі пасажирських перевезень та аналіз її результатів", на *VIII міжнар. наук.-практ. конф. Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту*, Вінниця: ВНТУ, 19-21 жовт. 2015, с. 113-114.
26. В.Д. Тарарака, *Архітектура комп'ютерних систем*. Житомир, Україна: ЖДТУ, 2018.
27. О.С. Ігнатенко, В.С. Маруніч, І.М. Дума, та В.В. Журавель, "Математичне моделювання міських пасажирських перевезень", *Проектування, виробництво, експлуатація автотранспортних засобів і поїздів*, Т. 2, с. 38-42, 1995.
28. М.М. Мороз, "Шляхи вдосконалення пасажирських перевезень транспортом загального користування", *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*, вип. 28, с. 57-63, 2015.
29. ДСТУ ISO 9000:2007, Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів.
30. В.И. Сергеев, М.Н. Григорьев, С.А. Уваров, *Логистика: информационные системы и технологии*. Москва, РФ: Изд-во "Альфа-Пресс", 2008.
31. Система міжнародних стандартних повідомлень в інтернет-комерції [Електронний ресурс]. Доступно: [https://studme.com.ua/191105227688/pravo/sistema\\_mezhdunarodnyh\\_standartnyh\\_soobscheniy\\_internet-kommertsii.htm](https://studme.com.ua/191105227688/pravo/sistema_mezhdunarodnyh_standartnyh_soobscheniy_internet-kommertsii.htm). Дата звернення: Січ. 08, 2019.

32. Автоматизация транспортного предприятия. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://atr.adandzo.com/>. Дата обращения: Янв. 08, 2019.
33. Е.И. Зайцев, *Информационные технологии в управлении эксплуатационной эффективностью автотранспорта*. Санкт-Петербург, РФ: ГИЭА, 1998.
34. А.А. Смехов, *Основы транспортной логистики*. Москва, РФ: Транспорт, 1995.
35. Є.В. Крикавський, та Н.В. Чернописька, *Логістичні системи*. Львів, Україна: Вид-во Національного університету "Львівська політехніка", 2009.
36. Є.В. Крикавський, *Логістичне управління*. Львів, Україна: Вид-во Національного університету "Львівська політехніка", 2005.
37. В.И. Сергеев, А.А. Кизим, и П.А. Эльяшевич, *Глобальные логистические системы*. Санкт-Петербург, РФ: Издательский дом "Бизнес-пресса", 2001.
38. Н.В. Хвищун, "Теоретичні підходи до класифікації логістичних систем", *Ефективна економіка*, № 3, 2009.
39. С.Ф. Лазарева, *Економіка та організація інформаційного бізнесу*. Київ, Україна: Вид. КНЕУ, 2002.
40. І.А. Кабанець, "Визначення основних логістичних підходів до управління інноваційними процесами". [Електронний ресурс]. Доступно: <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=2539>. Дата звернення: Січ. 18, 2019.
41. П.Р. Левковець, М.М. Мороз, та Р.В. Кобилецький, "Удосконалення логістичного управління перевезень пасажирів", *Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського*, Вип. 6 (47), Ч. 1, с. 113-115, 2007.
42. О. Криворучко, "Системне оцінювання якості транспортних послуг", *Стандартизація, сертифікація, якість*, №2, с. 46-51, 2011.



43. Т.О. Колодізева, Г.Р. Руденко, *Методичне забезпечення оцінки ефективності логістичної діяльності підприємств*. Харків, Україна: Вид. ХНЕУ, 2012.
44. М.П. Денисенко, П.Р. Левковець, Л.І. Михайлова, та інші, *Організація та проектування логістичних систем*. Київ, Україна: Центр учбової літератури, 2010.
45. А. А. Тимченко, В. В. Бойко, та В. В. Скоробрещук, "Порівняльний аналіз методів розв'язання задач ідентифікації", Зб. наук. праць "Індуктивне моделювання складних систем". Київ: Міжнар. Наук.-навч. Центр інформ. Технологій та систем НАН та МОН України (1), с. 219 – 228, 2009.
46. International Harvester Co. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://www.encyclopedia.chicagohistory.org/pages/2723.html>. Дата звер.: Лют. 10, 2019.
47. О. Матвієнко, М. Цивін, *Основи організації електронного документообігу*. Київ, Україна: Центр учбової літератури, 2008.
48. М.В. Ларин, "Электронный документооборот: проблемы разработки и внедрения" [Электронный ресурс]. Доступно: <http://www.cryptography.ru>. Дата обращения: Март 01, 2019.
49. А. А. Тимченко, В. В. Бойко, та В. В. Скоробрещук, "Аналітичний огляд задач та методів побудови моделей складних систем", Зб. наук. праць "Індуктивне моделювання складних систем". Київ: Міжнар. Наук.-навч. Центр інформ. Технологій та систем НАН та МОН України, С. 247 – 256. (2010).
50. М.Ю. Круковский, "Оценка эффективности систем Workflow", *Корпоративные системы*, № 1, с. 14-18, 2007.
51. Robust Monte Carlo methods for light transport simulation [Електронний ресурс]. Доступно: <https://searchworks.stanford.edu/view/10386091>. Дата звернення: Квіт. 01, 2019.

52. About OpenText Business Network [Електронний ресурс]. Доступно: [https://businessnetwork.opentext.com/about/?utm\\_source=gxs.co.uk&utm\\_medium=referral](https://businessnetwork.opentext.com/about/?utm_source=gxs.co.uk&utm_medium=referral). Дата звернення: Квіт. 01, 2019.
53. В.Д. Мигаль, *Інтелектуальні системи в технічній експлуатації автомобілів*. Харків, Україна: Майдан, 2018.
54. А. А. Tymchenko, M. V. Pidgornyj, G. O. Zaspа, V. V. Boiko, "Car power supply system unloading control tasks solution", Вісн. Черкас. держ. технол. ун-ту. (спецвипуск), 33 – 35 (2009).
55. "Що таке бортовий комп'ютер і навіщо він потрібен", *Український автопортал*. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://prodam-auto.com.ua/blog/bortovyi-kompyuter.html>. Дата звернення: Квіт. 08, 2019.
56. Г.Г. Швачич, В.В. Толстой, Л.М. Петречук, та інші, *Сучасні інформаційно-комунікаційні технології*. Дніпро, Україна: НМетАУ, 2017.
57. В. Гудкова, "Теоретико-прикладні основи підвищення ефективності економічної діяльності підприємств на ринку транспортного обслуговування населення", *Загальнотранспортні проблеми*, с. 11-28, 2013.
58. А. А. Тимченко, В. В. Бойко, В. В. Скоробрещук, та А. М. Гаврилей, "Статистичний підхід до розв'язання детермінованих задач ідентифікації", Зб. наук. праць "Індуктивне моделювання складних систем". Київ: Міжнар. Наук.-навч. Центр інформ. Технологій та систем НАН та МОН України. (2011).
59. П.О. Яновський, "Шляхи підвищення ефективності функціонування пасажирського комплексу України", *Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна «Транспортні системи та технології перевезень»*, Вип. 11, с. 73-79, 2011.
60. М.М. Дмитрієв, та М.М. Мороз, "Основні напрями вдосконалення міських пасажирських перевезень м. Кременчук", *Управління проектами, системний аналіз і логістика*, Вип. 10, с. 58-62, 2012.

61. К.Е. Більовський, "Стан та перспективи розвитку ринку логістичних послуг в Україні", *Вісник Хмельницького національного університету*, Т. 2, № 4, с. 25-29, 2016.
62. С.І. Гриценко, "Сталий розвиток економіки регіонів на основі транспортно-логістичних систем". [Електронний ресурс]. Доступно: <http://eir.pstu.edu/bitstream/handle/123456789/9361/%D0%93%D1%80%D0%B8%D1%86%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%20111-114.pdf?sequence=1>. Дата звернення: Трав. 12, 2019.
63. В.К. Губенко, І.В. Николаенко, *City Logistics: імплементація парадигми креативних логістических ценой*. Мариуполь, Україна: ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», 2015.
64. В. В. Бойко, М. В. Підгорний та А. А. Тимченко, "Комп'ютерна інженерія та проблеми активної безпеки автомобіля", в: Комп'ютерні науки та інженерія. CSE-2010: Матер. четвертої Міжнар. конф. молод. вчених (Вид-во Львівської політехніки, Львів, 25 – 27 листопада 2010), 408 с.
65. Офіційний сайт Департаменту ДАІ МВС України. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://www.sai.gov.ua/>. Дата звернення: Трав. 12, 2019.
66. С.О. Товстуха, "Актуальні питання щодо удосконалення державно-управлінських механізмів забезпечення безпеки дорожнього руху в Україні", *Державне управління: удосконалення та розвиток*, № 12, 2010.
67. Г.В. Костельницька, та І.В. Кулиняк, "Аналіз рівня аварійності та вплив коефіцієнта зчеплення на можливість скоєння ДТП і їх важкість". [Електронний ресурс]. Доступно: [http://www.rusnauka.com/24\\_PNR\\_2009/Tecnic/50776.doc.htm](http://www.rusnauka.com/24_PNR_2009/Tecnic/50776.doc.htm). Дата звернення: Трав. 12, 2019.
68. В. В. Бойко, "Інформаційна технологія активної безпеки автомобіля", *Вісн. Черкас. держ. технол. ун-ту*. (4), 186 (2010).

69. Смерть на дорозі: що приховує офіційна статистика про ДТП в Україні. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://www.epravda.com.ua/publications/2018/09/3/640036/>. Дата звернення: Трав. 12, 2019.
70. Організаційна структура, завдання та функції Міністерства внутрішніх справ. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://osvita.ua/vnz/reports/law/10122/>. Дата звернення: Трав. 12, 2019.
71. За рік в Україні стало на чверть більше п'яних водіїв - Нацполіція (інфографіка). [Електронний ресурс]. Доступно: <https://www.unian.ua/society/2375323-za-rik-v-ukrajini-stalo-na-chvert-bilshe-ryanih-vodijiv-natspolitsiya-infografika.html>. Дата звернення: Трав. 12, 2019.
72. О.С. Проневич, "Функції поліції (міліції): нормативно-доктринальна інтерпретація", *Право і безпека*, № 4 (36), с. 141-146, 2010.
73. А.І. Гоженко, та Ю.С. Біла, "Проблеми виникнення дорожньо-транспортних пригод та дорожньо-транспортного травматизму в Україні. Можливі шляхи їх вирішення", *Актуальные проблемы транспортной медицины*, № 3 (29), с. 11-22, 2012.
74. Допомога на Дорозі. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://archangel-of-light.org.ua/dopomoga-na-dorozi/>. Дата звернення: Трав. 12, 2019.
75. А. А. Тимченко та В. В. Бойко, "Системні принципи управління безпечним рухом автотранспортних засобів", в: Інформаційні технології в освіті, науці і техніці (ІТОНТ-2012): Міжнар. наук.-практ. конфер. (ЧДТУ, 25 – 27 квітня 2012).
76. В.А. Осипов, и А.П. Кравченко, "Модернизация технических средств организации дорожного движения", *Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажирских грузов. Безопасность дорожного движения*. Минск, РБ: БНТУ, 2016.
77. А. А. Тимченко та В. В. Бойко, "Системний аналіз етапів життєвих циклів галузі автомобілебудування (аналітичний огляд)" в: Контроль і

- управління в складних системах (КУСС-2010): Матер. X Міжнар. наук.-практ. конфер. (ВНТУ, Вінниця, 19 – 21 жовтня 2010), 336 с.
78. В.О. Осипов, *Безпека дорожнього руху: технічні засоби та інженерне облаштування*. Луганськ, Україна: Вид-во «Ноулідж», 2014.
  79. В.О. Осипов, та О.І. Мельниченко, "Використання комп'ютерних технологій у сфері безпеки руху автомобільного транспорту. Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті і при підготовці фахівців", на *Міжнар. наук.-практ. та наук.-метод. конф. присв. 85-річчю з Дня народж. А.Б.Гредескула*, Харків, 20-21 жовт. 2016, с. 101-102.
  80. Б.Д. Халмурадов, П.Б. Волянський, *Медицина надзвичайних ситуацій*. Київ, Україна: Центр учбової літератури, 2016.
  81. Упроваджуємо Європейські стандарти дорожньої безпеки. [Електронний ресурс]. Доступно: [https://ukravtodor.gov.ua/press/news/uprovadzhuiemo\\_уевропейски\\_standarty\\_dorozhnoi\\_bezpeky.html](https://ukravtodor.gov.ua/press/news/uprovadzhuiemo_уевропейски_standarty_dorozhnoi_bezpeky.html). Дата звернення: Лип. 11, 2019.
  82. В.Г. Дідик, *Правове регулювання транспортних коридорів в Європейському союзі та в Україні*. Київ, Україна, 2007.
  83. Аналіз аварійності на транспорті України за 2017 рік (у порівнянні з 2016 роком). [Електронний ресурс]. Доступно: [https://mtu.gov.ua/files/%D0%90%D0%9D%D0%90%D0%9B%D0%86%D0%97%20%D0%B7%D0%B0%202017%20%D1%80%D1%96%D0%BA%20\(%D0%BA%D1%96%D0%BD%D1%86%D0%B5%D0%B2%D0%B0%20%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B0%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F\).pdf](https://mtu.gov.ua/files/%D0%90%D0%9D%D0%90%D0%9B%D0%86%D0%97%20%D0%B7%D0%B0%202017%20%D1%80%D1%96%D0%BA%20(%D0%BA%D1%96%D0%BD%D1%86%D0%B5%D0%B2%D0%B0%20%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B0%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F).pdf). Дата звернення: Лип. 11, 2019.
  84. А.М. Туренко, В.І. Клименко, О.В. Сараєв, С.В. Данець, *Автотехнічна експертиза. Дослідження обставин ДТП*. Харків, Україна: ХНАДУ, 2012.

85. А.М. Редзюк, *Автомобільний транспорт України: стан, проблеми, перспективи розвитку*. Київ, Україна: ДП «Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут», 2005.
86. A. Tymchenko and V. Boyko, "Features of solving identification problems in transport technologies", *Intern. Scient. J. "INDUSTRY 4.0"*, V (5), Iss.2, 63 – 67 (2020). URL: <https://stumejournals.com/journals/i4/2020/2/63.full.pdf>.
87. V. V. Voiko, "Improvement of logistics system of municipal transport management", *Вісн. Черкас. держ. технол. ун-ту*. (1), 19 – 26, 2020. DOI: 10.24025/2306-4412.1.2020.193005.
88. Ю.В. Гержод, М.М. Горбаха, А.М. Редзюк, та А.Р. Хабутдінов, "Безпека автомобільних перевезень. Основні проблеми та шляхи їх вирішення", *Науково-виробничий журнал*, № 2 (226), с. 12-14, 2012.
89. В.Г. Сюравич, "Запобігання дорожньо-транспортним правопорушенням у контексті реформування національної поліції України та законодавчих новацій у сфері безпеки дорожнього руху", *Науковий вісник Національної академії внутрішніх справ*, № 1 (106), с. 158-172, 2018.
90. Технологии, применяемые при строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог и искусственных сооружений. [Электронный ресурс]. Доступно: [http://www.bntu.by/images/stories/ftk/Kaf/SED/kat\\_tehn1.pdf](http://www.bntu.by/images/stories/ftk/Kaf/SED/kat_tehn1.pdf). Дата обращения: Сент. 02, 2019.
91. О.І. Никифорук, *Розвиток транспорту з метою відновлення і зростання української економіки*. Київ, Україна: ДУ "Ін-т екон. та прогнозів. НАН України", 2018.
92. А.В. Піддубна, "Деякі аспекти запобігання злочинним порушенням правил безпеки дорожнього руху та експлуатації пасажирського автотранспорту", *Право і суспільство*, № 4, с. 132-136, 2011.
93. Д.В. Бєлих, А.О. Собакарь, *Адміністративна діяльність Державної автомобільної інспекції МВС України*. Київ, Україна: «МП Леся», 2015.
94. В.К. Доля, *Пасажирські перевезення*. Харків, Україна: Вид-во «Форт», 2011.

95. *Системологія на транспорті. Кн. IV. Організація дорожнього руху.* Київ, Україна: Знання України, 2012.
96. М. В. Підгорний, та В. В. Бойко, "Автоматизована система керування оперативним пожежогасінням", в: Математика сучасних інформаційних технологій: тези доп. IV Міжнар. наук.-практ. конф. (Прага, 2008), с. 40 – 42.
97. М.А. Григоров, О.Ф. Дащенко, А.В. Усов, *Проблеми моделювання і управління рухом транспортних потоків у великих містах.* Одеса, Україна: Астропринт, 2004.
98. Highway Capacity Manual. [Електронний ресурс]. Доступно: [https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/highway\\_capacity\\_manual.pdf](https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/highway_capacity_manual.pdf). Дата звернення: Вер. 08, 2019.
99. S. Tepley, D. Allingham, D. Richardson, and B. Stephenson, "Second Edition of the Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections", *Institute of Transportation Engineers*, District 7, Canada, 115 p., 1995.
100. Ю.О. Давідіч, *Розробка розкладу руху транспортних засобів при організації пасажирських перевезень.* Харків, Україна: ХНАМГ, 2010.
101. "Інтелектуальні транспортні системи. Стійкий розвиток транспортної системи: збірник матеріалів для політиків міст", *GTZ*, с. 40, 2007.
102. В. В. Бойко, "Інтелектуальна автомобільна система, як системна інтеграція сучасних інформаційних технологій і засобів автоматизації", в: Обчислюваний інтелект – 2011 (результати, проблеми, перспективи): Матер. першої Міжнар. наук.-техн. конфер. (Черкаси, 10 – 13 травня 2011), С. 284.
103. Т.І. Лумпова, "Сучасні напрямки створення інтегрованих інформаційних систем", *Статистика України*, № 1, с. 76-82, 2008.
104. Т.В. Левицька, "Особливості використання сучасних інформаційних технологій", *Актуальні проблеми економіки*, № 10, с. 233-238, 2009.
105. "Технология глобальной спутниковой навигации: какие бывают системы, параметры и функции", *Контрактная разработка и*

- производство электроники*. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://habr.com/ru/company/promwad/blog/202722/>. Дата обращения: Окт. 11, 2019.
106. "Інформаційно-аналітичний центр координатного часу та навігаційного забезпечення", *Про навігацію*. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://www.glonass-iac.ru/guide/>. Дата звернення: Лист. 02, 2019.
107. "Системы локального позиционирования", *Мир беспроводных решений*. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://www.wless.ru/technology/?tech=11>. Дата обращения: Дек. 13, 2019.
108. Л.С. Беляєвський, Є.О. Топольсков, А.А. Сердюк, та інші, "Підвищення достовірності навігаційного забезпечення в диспетчерських системах управління наземним транспортом з використанням сучасних телекомунікаційних технологій", *Вісник Центрального наукового центру ТАУ*, Вип. 13, с. 87-90, 2010.
109. С. Laugier, І.Е. Paromtchik, М. Perrollaz, et al., "Probabilistic analysis of dynamic scenes and collision risks assessment to improve driving safety", *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, Vol. 3, p. 4-19, 2011.
110. М.В. Краснова, Г.І. Балюк, А.Г. Бобкова, та інші, *Проблеми права екологічної безпеки*. Дніпро, Україна: Вид. НГУ, 2016.
111. Новини Черкаської міської ради. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://chmr.gov.ua/ua/newsread.php?view=17393&s=1&s1=17>. Дата звернення: Лист. 02, 2019.
112. Черкаський тролейбус. [Електронний ресурс]. Доступно: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%B0%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9\\_%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%B9%D0%B1%D1%83%D1%81](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%B0%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%B9%D0%B1%D1%83%D1%81). Дата звернення: Лист. 02, 2019.



113. Довідник маршрутів громадського транспорту у м.Черкаси. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://wikiroutes.info/uk/cherkassy/catalog>. Дата звернення: Лист. 02, 2019.
114. А. А. Тимченко, М. В. Підгорний, О. В. Тьорло та В. В. Бойко, "Оптимізація процесів функціонування АТП в умовах комплексної автоматизації", в: Автоматика – 2010: Матер. XVII міжнар. конфер. з автомат. управ. (ХНУРЕ, Харків, 27 – 29 вересня 2010), 322 с.
115. Є.Ю. Форнальчик, та І.А. Демчук, "Визначення інтервалів руху та наповненості салонів транспортних засобів на міських маршрутах", *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*, №1 (5), с. 163-166, 2016.
116. В.В. Ковалишин, "Про «комфортний» час очікування громадського транспорту у Львові". [Електронний ресурс]. Доступно: <http://volodymyrkovalyshyn.blogspot.com/2013/06/blog-post.html>. Дата звернення: Груд. 18, 2019.
117. А. А. Тимченко, М. В. Підгорний, та В. В. Бойко, "Системний аналіз задач синтезу структури системи метрологічного забезпечення автомобільного транспорту", в: Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании '2009: Матер. Междунар. науч.-практ. конф. Том 1. Транспорт, Туризм (Черноморье, Одесса, 21 – 28 декабря 2009), 99 с.
118. В. В. Бойко, "Система інформаційних технологій управління активною безпекою автомобіля", *Вісн. Черкас. держ. технол. ун-ту.* (2), 9 – 14 (2012).
119. Є.Ю. Форнальчик, та І.А. Демчук, "Визначення інтервалів руху та наповненості салонів транспортних засобів на міських маршрутах", *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*, №1 (5), с. 163-166, 2016.

120. А. А. Тимченко, М. В. Підгорний, та В. В. Бойко, "Математичне моделювання динамічних процесів безпечного руху автомобіля", в: Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС '2010: Матер. п'ятої наук.-практ. конфер. з міжнар. участю (Київ, 21 – 25 червня 2010), 282 с.
121. А. А. Тимченко, Н. В. Подгорный, и В. В. Бойко, "Формализованная постановка задач создания автоматизированных систем управления энергосистемы автомобиля", в: Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій «РТ-2010»: Матер. шостої Міжнар. наук.-техн. конфер. (СевНТУ, Севастополь, 19 – 24 квітня 2010), 519 с.
122. А.Ю. Кононюк, *Нейронні мережі і генетичні алгоритми*. Київ, Україна: Вид. «Корнійчук», 2008.
123. А. А. Тимченко та В. В. Бойко, "Інформаційна технологія системного проектування складних систем", в: Інтегровані інтелектуальні робото технічні комплекси (ІРТК-2011): Матер. четвертої Міжнар. наук.-практ. конфер. (НАУ, Київ, 23 – 25 травня 2011), 488 с.
124. В. П. Лисенко, та інші, *Системи штучного інтелекту: нечітка логіка, нейронні мережі, нечіткі нейронні мережі, генетичний алгоритм*. Київ, Україна: НУБіП України. – 2014.
125. А. А. Тимченко, М. В. Підгорний, та В. В. Бойко, "Системний підхід до проектування систем активної безпеки автомобіля", в: Системний аналіз та інформаційні технології: Матеріали XI Міжнар. наук.-техн. конфер. (ННК «ІПСА» НТУУ «КПІ», Київ, 26 – 30 травня 2009), 616 с.
126. П. В. Тимощук, *Штучні нейронні мережі*. Львів, Україна: Вид-во «Львівська політехніка». – 2011.
127. С.Д. Штовба, *Проектирование нечетких систем средствами MATLAB*. Москва, РФ: Горячая линия-Телеком, 2007.
128. S.N. Sivanandam, S. Sumathi, S.N. Deera, *Introduction to Fuzzy Logic Using MATLAB*. New York, NY, USA: Springer, 2006.

129. Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский, *Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы*. Москва, РФ: Телеком, 2006.
130. О. В. Тьорло та В. В. Бойко, "АСУ автотранспортного підприємства. Прогресивні інформаційні технології розробки та впровадження", в: *Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте '2010: Матер. Междунар. науч.-практ. конф. Том 4. Технические науки. (Черноморье, Одесса, 21 – 30 июня 2010)*, 96 с.
131. А.Г. Мальчикова, "Организация логистических потоков в системе городских пассажирских перевозок", автореф. дисс. канд. техн. наук, Санкт-Петербург, РФ, 2000.
132. В. В. Бойко, "Структурний синтез системи автоматичного управління безпечним рухом автомобіля", *Вісн. Черкас. держ. технол. ун-ту.* (1), 105 – 109 (2011).
133. Вартість нових автобусів «Богдан». [Електронний ресурс]. Доступно: [https:// auto.ria.com/uk/newauto/marka-bogdan/](https://auto.ria.com/uk/newauto/marka-bogdan/). Дата звернення: Груд. 18, 2019.
134. О. В. Тьорло, А. В. Бурлай та В. В. Бойко, "Автотранспортне підприємство, як об'єкт системного проектування", в: *Современные направления теоретических и прикладных исследований '2009: матер. Междунар. науч.-практ. конфер. Том 1. Транспорт. (Черноморье, Одесса, 16 – 27 марта 2009)*, 92 с.
135. О.Ф. Волошин, та С.О. Мащенко, *Теорія прийняття рішень*. Київ, Україна: "Київський університет", 2006.
136. А.П. Ротштейн, и Ю.И. Митюшкин, "Извлечение нечетких баз знаний из экспериментальных данных с помощью генетических алгоритмов", *Кибернетика и системный анализ*, № 4, с. 45-53, 2001.
137. Г.М. Гнатієнко, та В.Є. Снитюк, *Експертні технології прийняття рішень*. Київ, Україна: McLaut, 2008.

138. Л.А. Бойко, та Ю.П. Зайченко, "Системи з нечіткою логікою в задачах експертного оцінювання", *Системні дослідження та інформаційні технології*, № 2, с. 33-46, 2007.
139. А. А. Тимченко, О. В. Тьорло, и В. В. Бойко, "Координованість по формуванню управлінських рішень у дворівневій системі організації управління автотранспортного підприємства", в: Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті: Матер. другої Міжнар. наук.-техн. конфер. (Херсон, 25 – 27 травня 2010).
140. В.Е. Снитюк, *Прогнозирование. Модели, методы, алгоритмы*. Киев, Украина: Маклаут, 2008.
141. А. А. Тимченко та В. В. Бойко, "Системний аналіз інформаційної технології автоматизації системи контролю керування для безпечного руху автомобіля", в: Автоматика – 2011: Матер. XVIII міжнар. конфер. з автомат. управ. (НУ "Львівська політехніка", Львів, 28 – 30 вересня 2011).
142. А. А. Тимченко та В. В. Бойко, "Системний аналіз та математичне моделювання складних систем автономного функціонування", в: Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2011): Матер. третьої Міжнар. наук.-практ. конфер. (ХДМІ, Херсон, 23 – 25 травня 2011), 296 с.
143. В. В. Барковський, Н. В. Барковська, та О. К. Лопатін, *Теорія ймовірностей та математична статистика*. Київ, Україна: Центр учбової літератури. – 2010.

## ДОДАТКИ

## Додаток А.

Основні базові підходи для розуміння цілей  
і завдань логістичної інформаційної системи

№ підходу	Основні елементи ЛІС	Базові принципи підходу	Прихильники	Переваги	Недоліки
1	2	3	4	5	6
1	Програмний продукт та обчислювальна техніка	Традиційний погляд на управління матеріальним потоком з використанням формального програмного продукту, що дозволяє проводити частковий облік пасажиропотоку та його зупинок	Е.Мате, Д.Тиксьє, А.Канке, І.Кошова	Підхід дозволяє раціоналізувати процеси руху транспортних засобів за рахунок скорочення витрат часу та матеріальних коштів на обробку супроводжувальної документації, підвищення якості та оперативності облікових операцій	Підхід не забезпечує конкурентоспроможність автопідприємств, не дозволяє використовувати системний підхід та інтеграцію
2	Програмний продукт, персонал, обладнання, технології	Інтерактивна система, що об'єднана інформаційними потоками і використовується логістичним менеджментом для планування, регулювання, контролю та аналізу функціонування логістичної системи	В.І.Сергєєв, Л.Б.Міротін, А.П.Долгов, А.С.Уваров	Зв'язок ЛІС з зовнішнім середовищем: пасажирями, перевізниками, а також з функціями управління; передбачається наявність підсистеми досліджень, зв'язку та підсистеми підтримки логістичних рішень	Надає лише загальну концептуальну модель ЛІС, не містить рекомендацій на виконання конкретних завдань, що вирішуються цією підсистемою; не спрямований на досягнення конкурентних переваг

1	2	3	4	5	6
3	Технічне та програмне забезпечення підприємства	Узгоджує взаємодію між даною підсистемою та конкуренто-спроможністю автопідприємства. Забезпечує інтеграцію з іншими учасниками логістичного ланцюга. Здійснює управлінський контроль, аналіз рішень та стратегічне планування	Д.Бауерсокс, Д.Клосс	Порівнянні з іншими більш чітке виділення цілей та завдань ЛПС, які одночасно є факторами формування її структури.	Істотний вплив на ділову активність і конкуренто-спроможність автотранспортних підприємств чинить функціональна диверсифікація
4	Сукупність інформаційних систем різної функціональності	Засновані на розвитку концепції управління логістичними системами, які є факторами, що змінюють підходи до організації ЛПС, в тому числі її структуру	Р.Р.Ларіна, О.Г.Череп, І.Ю.Грішин, А.О.Ілаєва	Створює єдине середовище координації дій учасників дорожнього руху при реалізації основних функцій SCM в режимі реального часу. Оптимізує логістичні ланцюги пасажиропотоку за рахунок колективного доступу до інформаційних ресурсів.	У випадку нераціональної організації інформаційного потоку, не відбувається його логістизація (оптимізація)

## Додаток Б.

Графіки порівняння прогнозованих значень (метод LSTM) з експериментальними даними за 2019 рік за громадськими маршрутами м.Черкаси

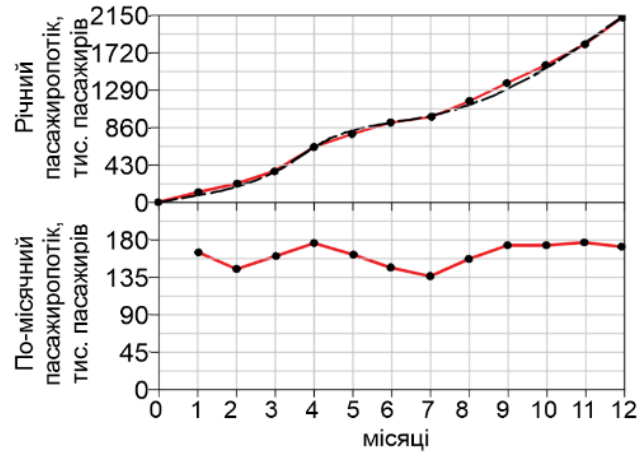


Рисунок Б.1 – Порівняння прогнозу та статистичних даних пасажиропотоку на 2019 рік для автобусного маршруту №25

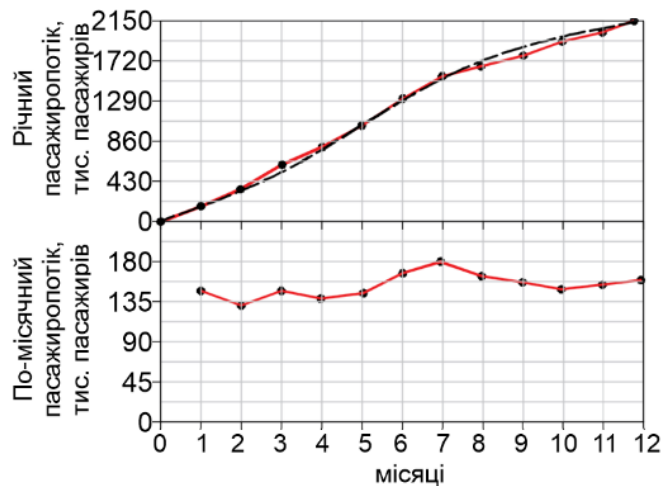


Рисунок Б.2 – Порівняння прогнозу та статистичних даних пасажиропотоку на 2019 рік для автобусного маршруту №20

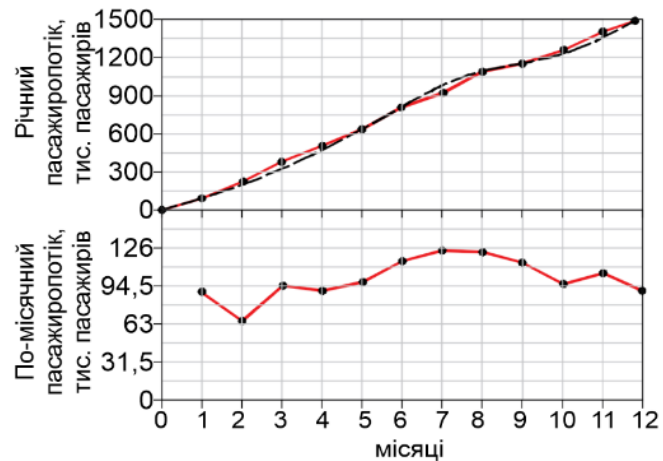


Рисунок Б.3 – Порівняння прогнозу та статистичних даних пасажиропотоку на 2019 рік для автобусного маршруту №12

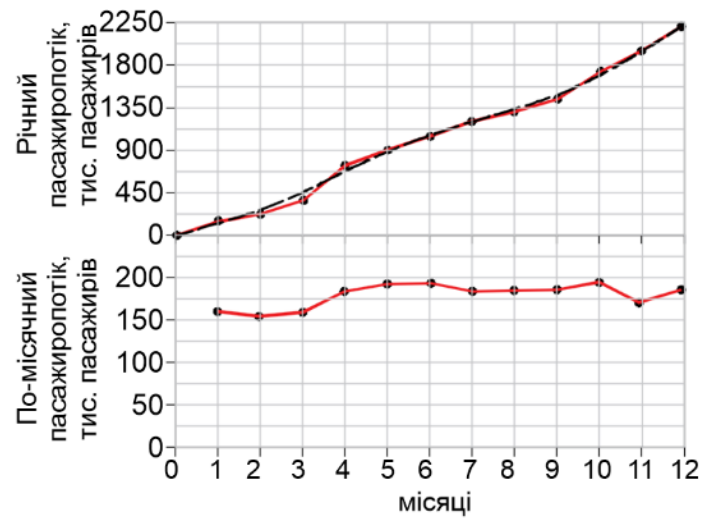


Рисунок Б.4 – Порівняння прогнозу та статистичних даних пасажиропотоку на 2019 рік для автобусного маршруту №31

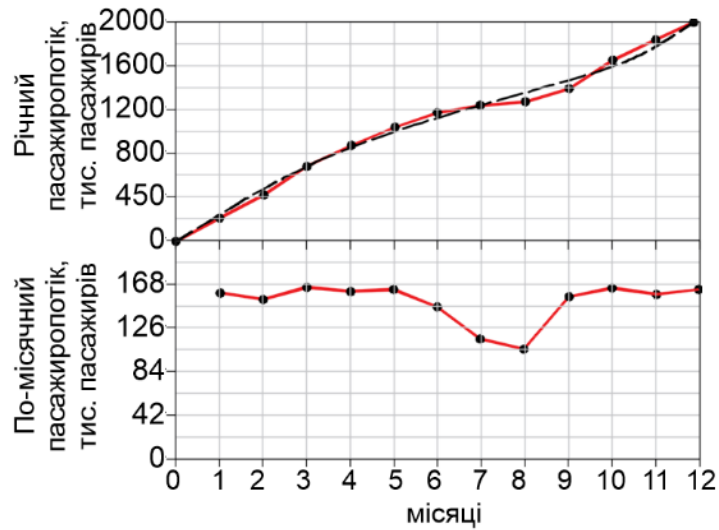


Рисунок Б.5 – Порівняння прогнозу та статистичних даних пасажиропотоку на 2019 рік для автобусного маршруту №115

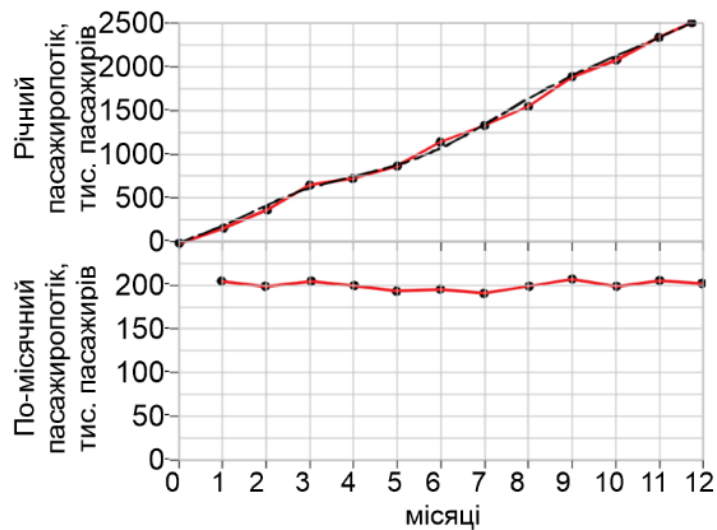


Рисунок Б.6 – Порівняння прогнозу та статистичних даних пасажиропотоку на 2019 рік для тролейбусного маршруту №1



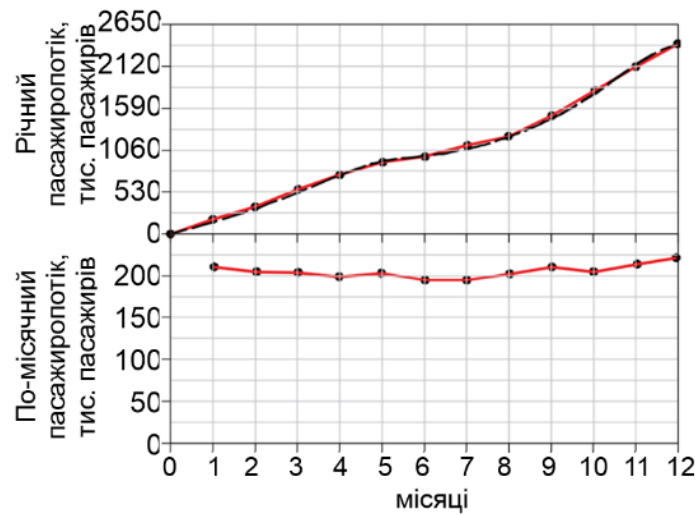


Рисунок Б.7 – Порівняння прогнозу та статистичних даних пасажиропотоку на 2019 рік для тролейбусного маршруту №2

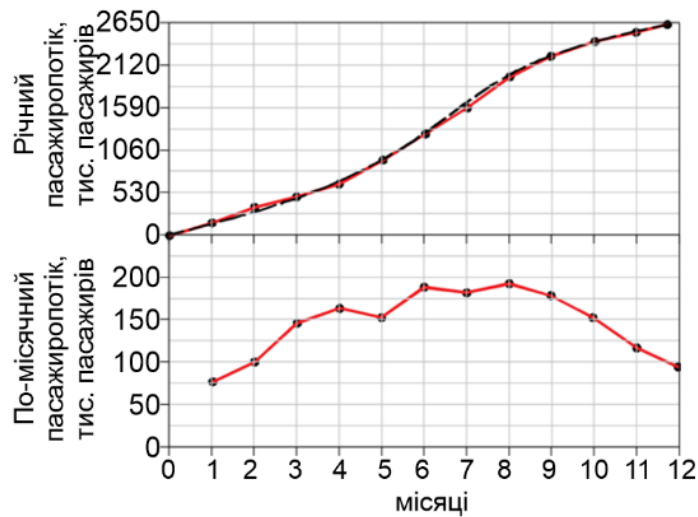


Рисунок Б.8 – Порівняння прогнозу та статистичних даних пасажиропотоку на 2019 рік для тролейбусного маршруту №3

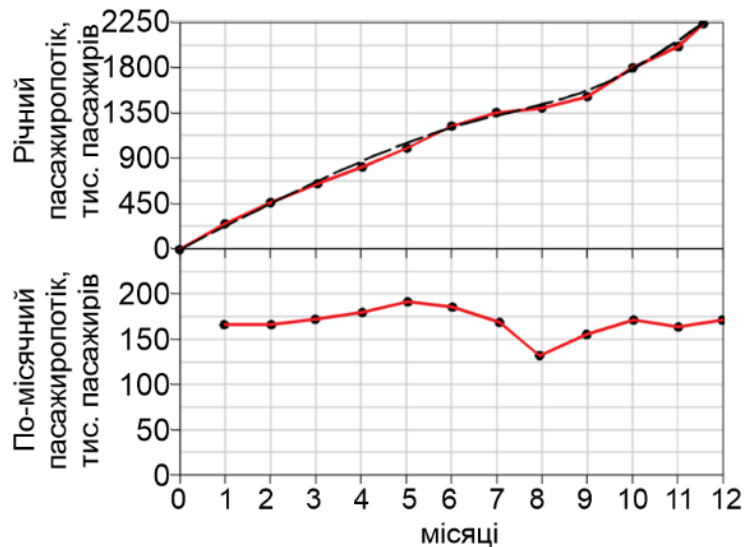


Рисунок Б.9 – Порівняння прогнозу та статистичних даних пасажиропотоку на 2019 рік для тролейбусного маршруту №7

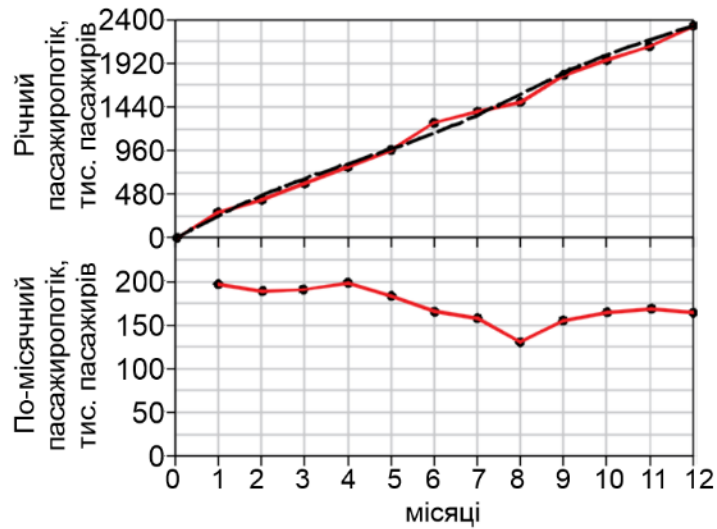


Рисунок Б.10 – Порівняння прогнозу та статистичних даних пасажиропотоку на 2019 рік для тролейбусного маршруту №8

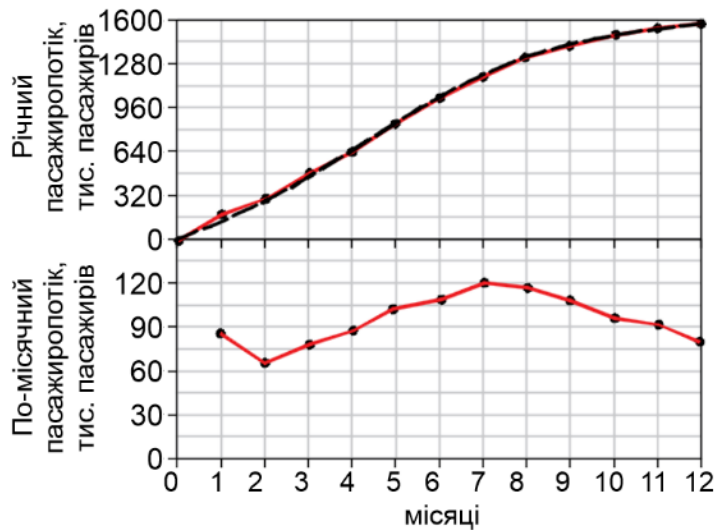


Рисунок Б.11 – Порівняння прогнозу та статистичних даних пасажиропотоку на 2019 рік для тролейбусного маршруту №10

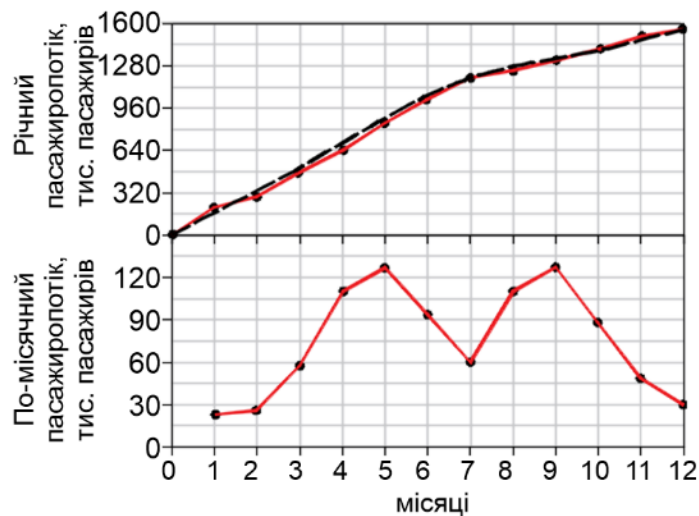


Рисунок Б.12 – Порівняння прогнозу та статистичних даних пасажиропотоку на 2019 рік для тролейбусного маршруту №14

## Додаток В.

## Основні елементи моделі «Інформаційна система підтримки прийняття рішень»

Таблиця В.1 - Основні елементи моделі IDEF0

Список даних	Перелік функцій
Предметна діяльність Умови для прийняття рішення аналітики, експерти, ОПР Найкраща альтернатива	A0. ІС ППР в ситуаційному центрі
Предметна діяльність Умови для прийняття рішень аналітики, експерти, ОПР критерії, вагові коефіцієнти альтернативи Найкращі рішення	A1. Створення критеріїв A2. Створення альтернатив A3. Вибір і реалізація методу
Предметна діяльність Умови для прийняття рішень альтернативи критерії, вагові коефіцієнти метод, підсумки оцінок ОПР, експерти Найкращі рішення	A31. Вибір методу розрахунку A32. Розрахунок підсумкових оцінок альтернатив A33. Вибір найкращої альтернативи

Таблиця В.2 – Словник

Терміни	Визначення
Інформаційна система	Сукупність програмних додатків, баз даних, що використовуються для управління
Інформаційна система для підтримки прийняття рішень	Комп'ютерна автоматизована система, що допомагає людям, які приймають рішення в складних умовах для повного і об'єктивного аналізу предметної діяльності
Ситуаційний центр	Комплекс програмно-технічних засобів, що дозволяє здійснювати моніторинг і прийняття управлінських рішень при виникненні певних подій (ситуацій)
Аналітик	Аналітик збирає і проводить первинне оброблення інформації, необхідної для моніторингу ситуації та ППР
Експерт	Експерт аналізує отриману інформацію і надає оцінку різних варіантів вирішення проблеми
ОПР	Особа, яка приймає рішення на основі зібраної інформації і з урахуванням думок експертів обирає найбільш оптимальний з її точки зору варіант.

Таблиця В.3 – Опис функціональних блоків

Найменування блоку	Опис вирішуваних завдань
A1. Створення критеріїв	Аналітиками складається список критеріїв оцінки альтернатив, який затверджується ОПР
A2. Створення альтернатив	Аналітиками складається список альтернатив
A3. Вибір і реалізація методу	ОПР обирається метод групового прийняття рішення, експерти розставляють оцінки альтернатив і проводиться вибір найкращої альтернативи
A31. Вибір методу розрахунку	ОПР обирається метод групового прийняття рішення, за яким буде проводитися вибір кращої альтернативи
A32. Розрахунок підсумкових оцінок альтернатив	Експертами відповідно до обраного методу розставляють оцінки для кожної альтернативи за усіма критеріями.
A33. Вибір найкращої альтернативи	Отримуються оцінки альтернатив і проводиться вибір найкращої альтернативи

Таблиця В.4 - Основні елементи моделі IDEF3

Перелік дій	Тип з'єднання	
	Назва	Вид
1. Аналіз предметної діяльності	З'єднання «Ексклюзивне АБО» J1	Те, що розгортається
1. Вибір методу прийняття рішення за допомогою кластеризації експертних оцінок альтернатив 2. Вибір методу прийняття рішення за допомогою методу переваги 3. Вибір методу прийняття рішення на основі бального методу	З'єднання «Ексклюзивне АБО» J2	Те, що згортається

Таблиця В.5 – Словник

Терміни	Визначення
Розгортальне з'єднання «Ексклюзивне АБО»	Розбиває потоки. Ініціюється лише одна кінцева дія
Згортальне з'єднання «Ексклюзивне АБО»	Об'єднує потоки. Має завершитися лише одна вихідна дія

Таблиця В.6 – Опис функціональних блоків

Найменування блоку	Опис вирішуваних завдань
1. Аналіз предметної діяльності	Аналіз вхідної інформації
2. Вибір методу прийняття рішення	Отримання найкращої альтернативи
3. Підтвердження обраного методу	ОПР підтверджує проведення розрахунку найкращої альтернативи обраним методом

Таблиця В.7 – Основні елементи моделі DFD

Список даних	Перелік об'єктів
Спосіб розрахунку Аналіз отриманої інформації Критерії оцінки альтернатив Вагові коефіцієнти критеріїв Пропоновані альтернативи Підсумки розрахунку	Функціональні блоки: 1. Розрахунок
Спосіб розрахунку Аналіз отриманої інформації	Зовнішні елементи: 1. Обраний метод 2. Експерти
Критерії оцінки альтернатив Вагові коефіцієнти критеріїв Пропоновані альтернативи Підсумки розрахунку	Сховища даних: 1. Критерії 2. Вагові коефіцієнти 3. Альтернативи 4. Підсумкові оцінки альтернатив

Таблиця В.8 – Словник

Терміни	Визначення
Спосіб розрахунку	Дані про метод підтримки прийняття рішень
Аналіз отриманої інформації	Думки експертів про предметну діяльність
Критерії оцінки альтернатив	Критерії, за якими оцінюються альтернативи
Вагові коефіцієнти критеріїв	Значимість кожного з критеріїв
Пропоновані альтернативи	Варіанти вирішення завдання
Підсумки розрахунку	Звіт по оцінкам альтернатив за критеріями експертів

Таблиця В.9 – Опис об'єктів

Назва об'єкту	Опис функцій
Функціональні блоки:	
1. Розрахунок	Виставлення оцінок експертами і реалізація обраного методу підтримки прийняття рішень
Зовнішні елементи:	
1. Обраний метод	Назва і алгоритм реалізації обраного методу ППР
2. Експерти	Користувач, який розставляє оцінки альтернатив за усіма критеріями відповідно до обраного методу
Сховища даних:	
1. Критерії	Збір та збереження інформації про критерії
2. Вагові коефіцієнти	Збір та збереження інформації про вагові коефіцієнти критеріїв
3. Альтернативи	Збір та збереження інформації про варіанти рішення
4. Підсумкові оцінки альтернатив	Збір та збереження інформації про усі оцінки альтернатив

## Додаток Г.

Лістинг програмного модулю для комп'ютерного моделювання системи управління процесом перевезення пасажирів з використанням нейромережі LSM (мова програмування MatLAB пакету розширення Fuzzy Logic Toolbox)

## Основний робочий файл «FSK.fis»

```
[System]
Name='FSK'
Type='sugeno'
Version=2.0
NumInputs=3
NumOutputs=1
NumRules=27
AndMethod='prod'
OrMethod='max'
ImpMethod='prod'
AggMethod='sum'
DefuzzMethod='wtaver'

[Input1]
Name='input1'
Range=[0.2 5]
NumMFs=3
MF1='in1mf1':gaussmf',[1.08254124811592 0.375041828743062]
MF2='in1mf2':gaussmf',[0.645004923415316 2.44475922592585]
MF3='in1mf3':gaussmf',[1.11615048345669 4.75075261738396]

[Input2]
Name='input2'
Range=[2 10]
NumMFs=3
MF1='in2mf1':gaussmf',[1.82228669181041 1.98831643078408]
MF2='in2mf2':gaussmf',[1.85397225431766 6.09779487379099]
MF3='in2mf3':gaussmf',[2.01592425767326 9.9416416333083]

[Input3]
Name='input3'
Range=[-36 38]
NumMFs=3
MF1='in3mf1':gaussmf',[15.6768472640858 -36.0003584074944]
MF2='in3mf2':gaussmf',[15.6960946515841 1.00144087469455]
MF3='in3mf3':gaussmf',[15.8982549196345 37.9086135581852]

[Output1]
Name='output'
Range=[0 5]
NumMFs=27
MF1='out1mf1':constant',[4.83108519875328]
MF2='out1mf2':constant',[9.31518138085815]
MF3='out1mf3':constant',[26.913194664005]
MF4='out1mf4':constant',[3.99563194531547]
MF5='out1mf5':constant',[7.18146188162534]
```

MF6='out1mf6':constant,[-137.274072993196]  
 MF7='out1mf7':constant,[4.25140116383742]  
 MF8='out1mf8':constant,[4.39078180125942]  
 MF9='out1mf9':constant,[-18.3351770408811]  
 MF10='out1mf10':constant,[2.11996666510927]  
 MF11='out1mf11':constant,[0.589659050911779]  
 MF12='out1mf12':constant,[77.0969940155469]  
 MF13='out1mf13':constant,[3.00989450834795]  
 MF14='out1mf14':constant,[2.46590472916196]  
 MF15='out1mf15':constant,[29.9691766985947]  
 MF16='out1mf16':constant,[31.8683751672221]  
 MF17='out1mf17':constant,[6.9917378220015]  
 MF18='out1mf18':constant,[-31.09008296786]  
 MF19='out1mf19':constant,[13.4276216173808]  
 MF20='out1mf20':constant,[3.98885610267375]  
 MF21='out1mf21':constant,[-33.262059265615]  
 MF22='out1mf22':constant,[66.8387755722909]  
 MF23='out1mf23':constant,[1.30078847166757]  
 MF24='out1mf24':constant,[1.08487569753536]  
 MF25='out1mf25':constant,[-66.7604730235865]  
 MF26='out1mf26':constant,[5.97115931235109]  
 MF27='out1mf27':constant,[-0.486604596322392]

[Rules]

1 1 1, 1 (1) : 1  
 1 1 2, 2 (1) : 1  
 1 1 3, 3 (1) : 1  
 1 2 1, 4 (1) : 1  
 1 2 2, 5 (1) : 1  
 1 2 3, 6 (1) : 1  
 1 3 1, 7 (1) : 1  
 1 3 2, 8 (1) : 1  
 1 3 3, 9 (1) : 1  
 2 1 1, 10 (1) : 1  
 2 1 2, 11 (1) : 1  
 2 1 3, 12 (1) : 1  
 2 2 1, 13 (1) : 1  
 2 2 2, 14 (1) : 1  
 2 2 3, 15 (1) : 1  
 2 3 1, 16 (1) : 1  
 2 3 2, 17 (1) : 1  
 2 3 3, 18 (1) : 1  
 3 1 1, 19 (1) : 1  
 3 1 2, 20 (1) : 1  
 3 1 3, 21 (1) : 1  
 3 2 1, 22 (1) : 1  
 3 2 2, 23 (1) : 1  
 3 2 3, 24 (1) : 1  
 3 3 1, 25 (1) : 1  
 3 3 2, 26 (1) : 1  
 3 3 3, 27 (1) : 1

## Файл з правилами навчання «RL.fis»

```

[System]
Name='RL'
Type='mamdani'
Version=2.0
NumInputs=3
NumOutputs=1
NumRules=27
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'

[Input1]
Name='T'
Range=[0 1]
NumMFs=3
MF1='S':'trapmf',[-0.1 0 0.25 0.5]
MF2='M':'trimf',[0.25 0.5 0.75]
MF3='B':'trapmf',[0.5 0.9 1 1.1]

[Input2]
Name='I'
Range=[0 1]
NumMFs=3
MF1='S':'trapmf',[-0.1 0 0.25 0.5]
MF2='M':'trimf',[0.25 0.5 0.75]
MF3='B':'trapmf',[0.5 0.9 1 1.1]

[Input3]
Name='N'
Range=[0 1]
NumMFs=3
MF1='S':'trapmf',[-0.1 0 0.25 0.5]
MF2='M':'trimf',[0.25 0.5 0.75]
MF3='B':'trapmf',[0.5 0.9 1 1.1]

[Output1]
Name='P'
Range=[0 1]
NumMFs=3
MF1='S':'trapmf',[-0.1 0 0.25 0.5]
MF2='M':'trimf',[0.25 0.5 0.75]
MF3='B':'trapmf',[0.5 0.9 1 1.1]

[Rules]
1 1 1, 3 (1) : 1
1 2 1, 3 (1) : 1
1 3 1, 2 (0.8) : 1
1 1 2, 3 (1) : 1
1 1 3, 2 (0.75) : 1
1 2 2, 2 (0.9) : 1

```



1 2 3, 2 (0.7) : 1  
2 3 1, 2 (0.7) : 1  
2 1 3, 2 (0.6) : 1  
2 3 2, 1 (0.3) : 1  
2 2 2, 2 (0.5) : 1  
2 1 2, 2 (0.6) : 1  
2 2 1, 2 (0.65) : 1  
2 1 1, 3 (1) : 1  
2 2 3, 2 (0.45) : 1  
2 3 3, 1 (0.25) : 1  
3 1 1, 2 (0.8) : 1  
3 2 1, 2 (0.7) : 1  
3 3 1, 1 (0.3) : 1  
3 2 2, 2 (0.65) : 1  
3 3 3, 1 (0.2) : 1  
3 3 2, 1 (0.45) : 1  
3 2 3, 1 (0.3) : 1  
3 1 3, 1 (0.5) : 1  
3 1 2, 2 (0.65) : 1  
1 3 3, 1 (0.4) : 1  
1 3 2, 2 (0.6) : 1

## Додаток Д.

## Тестувальна вибірка для створення нової бази нечітких правил

№ з/п	Зростання прибутку від перевезення пасажирів, %	Інтервал руху на альтернативному маршруті (частка від максимального часу)	Наповненість салону транспортного засобу, %	Привабливість альтернативного маршруту, бали
1	-10	0,2	15	2
2	-24	0,4	15	1
3	-38	0,6	15	1
4	-40	0,8	15	1
5	-43	1,0	15	1
6	-4	0,2	30	3
7	-11	0,4	30	3
8	-17	0,6	30	3
9	-22	0,8	30	2
10	-27	1,0	30	2
11	+2	0,2	45	3
12	+2	0,4	45	3
13	0	0,6	45	2
14	-8	0,8	45	2
15	-13	1,0	45	2
16	+18	0,2	60	4
17	+12	0,4	60	4
18	+11	0,6	60	4
19	+10	0,8	60	3
20	+5	1,0	60	3
21	+34	0,2	75	9
22	+27	0,4	75	7
23	+21	0,6	75	6
24	+14	0,8	75	5
25	+6	1,0	75	3
26	+45	0,2	95	9
27	+37	0,4	95	10
28	+28	0,6	95	8
29	+19	0,8	95	8
30	+8	1,0	95	6

## Додаток Е.

Технологія реалізація моделі для забезпечення ефективності системи автоматичного управління громадськими перевезеннями пасажирів.

Реалізація необхідних інформаційно-технічних характеристик, властивостей надійності та автоматизація етапів життєвого циклу (ЖЦ) шляхом широкого використання інформаційної технології дозволяють виробити і обґрунтувати конструктивний підхід до удосконалення процесів експлуатації, організації контролю та прогнозування при громадському пасажироперевезенні.

Накопичення людино-машинного досвіду взаємодії систем «Диспетчер – міський пасажирський транспорт (МПТ)», «Водій – МПТ», «диспетчер – особа, що приймає рішення (ОПР)» та інші, складових предметно-методологічної області досліджень властивостей МПТ на базі інформаційно-аналітичної системи автоматичного управління, знижує невизначеність постановки і результатів вирішення задач за рахунок використання системних моделей.

Проблема підвищення ефективності будови, функціонування та адаптації МПТ, як елементу системи автоматичного управління пасажироперевезеннями міським транспортом (САУППМТ) поділяється на показники надійності МПТ в очікуваних і екстремальних умовах експлуатації як кількісних характеристик однієї або кількох властивостей надійності цих транспортних засобів: безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності, збереженості, а також комплексних показників надійності (коефіцієнти наповненості салону, гарантованого доставлення у пункт призначення, привабливості тощо).

В залежності від характеру розв'язуваних системою завдань управління перевезеннями пасажирів громадським транспортом, останню можна поділити на три групи.

1. Адитивні системи. Ефективність функціонування:

$$E_{(t)} = \sum_{i=1}^n P(H_i) \cdot \Phi_i, \quad \text{де } \Phi_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \Phi_i = 1, \quad (\text{E.1})$$

де  $n$  – типи технічних станів системи управління;  $\Sigma\Phi$  – сумарний вихідний ефект системи управління за умов працездатності каналів.

2. Для функціонально-резервованих систем управління ефективність функціонування залежить від виду резерву структури (структурне резервування).

При одночасній роботі каналів:

$$E_{(t)} = \sum_{i=1}^n [P(H_i)] \cdot [1 - (1 - \Phi_i)^v], \quad (\text{E.2})$$

де  $v$  – кратність резервування каналів, що одночасно перебувають в стані  $H_i$ .

У випадку виконання каналами одного завдання, але в різні моменти часу:

$$E_{(t)} = 1 - [1 - \sum_{i=1}^n P(H_i) \cdot \Phi_i]^v. \quad (\text{E.3})$$

3. Для багатофункціональних систем управління з пошкодженим  $k$ -каналом, коли сумарний вихідний ефект, ефективність функціонування  $\Phi_{\Sigma} \neq 1$ :

$$E_{(t)} = \sum_{i=1}^n P(H_i) \cdot \Phi_i \prod_{k=1}^i Q_k, \quad (\text{E.4})$$

де  $Q_k$  – ймовірність відмови  $k$ -го каналу;  $\Phi_{\Sigma} \neq 1$ ;  $1 \neq \Phi_1 > \Phi_2 > \dots > \Phi_n$ .

У разі, якщо виконання режимів роботи визначається групами каналів, то

$$E_{(t)} = \sum_{i=1}^n [P(H_i) - P(H_{i-1})] \cdot \Phi_i, \quad (\text{E.5})$$

де  $\Phi_i$  – сукупний ефект.

Для системи управління громадськими пасажироперевезеннями, що мають  $n$  дискретних станів, які представлені групою несумісних подій, при виконанні задач:

$$E_{(t)} = \sum_{\eta=1}^p \sum_{i=1}^n P_{\eta} \cdot P(H_i) \cdot P_{\eta}(A/H_i), \quad (\text{E.6})$$

де  $P_{\eta}$  – ймовірність виконання  $\eta$ -часткового завдання,  $\eta = 1, \dots, p$ ;

$P(H_i)$  – ймовірність знаходження системи моніторингу в  $i$ -му стані;

$P_{\eta}(A/H_i)$  – умовна ймовірність події  $A$ .

Застосування логіко-статистичного методу дозволяє відобразити умови працездатних станів системи управління за допомогою виразу:

$$P\{y(x_1, x_2, \dots, x_m) = 1\} = \sum_{i=1}^n P(H_i), \quad (\text{E.7})$$

де  $\{x\}$  – множина змінних робочих станів системи управління, достатніх для виконання завдання.

Використання логіко-ймовірнісного методу дозволяє оцінити ефективність функціонування системи управління:

$$E(y\{x_i\} = 1, t) = \begin{vmatrix} \{x_i^{\alpha_i}\}_1 \Phi_1 \\ \{x_i^{\alpha_i}\}_2 \Phi_2 \\ \dots \\ \{x_i^{\alpha_i}\}_l \Phi_s \\ \dots \\ \{x_i^{\alpha_i}\}_\alpha \Phi_c \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} P(H_i)_1 \Phi_1 \\ P(H_i)_2 \Phi_2 \\ \dots \\ P(H_i)_l \Phi_s \\ \dots \\ P(H_i)_\alpha \Phi_c \end{vmatrix}, \quad (E.8)$$

де  $\{x_i^{\alpha}\}$  – показник надійності системи управління при виконанні задачі; ( $i = 1, \dots, n; l = 1, \dots, \alpha$ );  $y\{x_i\}$  – умова функціонування для виконання  $\eta$ -задачі; ( $\eta = 1, \dots, p; P(H_i)_l$  – безвідмовність системи  $l$ -го каналу при виконанні  $i$ -тої задачі, у випадку, якщо вихідний ефект  $\Phi_i \neq 1$ ;  $\Phi_s (s \neq l)$  – вихідні ефекти ( $s = 1, \dots, c$ ),  $y_l$  – найкоротший шлях успішного функціонування системи управління;  $\alpha$  - двійкова змінна величина ( $\bar{\alpha} = 1 \vee \alpha = 0$ ).

Вираз  $E_{(t)} = E(P_j, y\{x_i\} = 1, t) = E[\sum_{\eta=1}^p P_\eta (P_j \vee_{l,s}^{\alpha,c} P_i) \Phi_s]$  може бути використано як критерій оптимізації.

Підвищення надійності системи управління забезпечується за рахунок резервування структури при обмеженнях, а завдання оптимізації структури передбачається її максимізація:  $E_{(t)} \rightarrow \max$ .

У реальних умовах функціонування досягається за рахунок наступних дій:

- зменшення помилок водія транспортного засобу (спеціальне навчання, використання тренажерів для моделювання небезпечних ситуацій);
- поліпшення характеристик елементів САУППМТ на всіх етапах ЖЦ (моделі МПТ);
- функціональна діагностика елементів САУППМТ, проходження технічного огляду та ремонту МПТ;
- вдосконалення та розвитку структур і методів транспортних та глобальних систем автоматичного управління.

## Додаток Є.

Лістинг сторінки пасажирської транспортної мережі м.Черкаси на сайті  
EasyWay, адаптований під автоматичне робоче місце диспетчера  
громадського автотранспортного підприємства

```

<!DOCTYPE html><html>
<head>
<title>Повний перелік актуальних маршрутів Черкас на карті. Автобуси, тролейбуси Черкас</title>
<meta charset="UTF-8">
<meta name="description"
content="EasyWay&#x20;&#x043F;&#x0440;&#x043E;&#x043F;&#x043E;&#x043D;&#x0443;&#x0454;
&#x20;&#x0412;&#x0430;&#x043C;&#x20;&#x043F;&#x043E;&#x0432;&#x043D;&#x0438;&#x0439;&#
x20;&#x043F;&#x0435;&#x0440;&#x0435;&#x043B;&#x0456;&#x043A;&#x20;&#x0430;&#x043A;&#x0
442;&#x0443;&#x0430;&#x043B;&#x044C;&#x043D;&#x0438;&#x0445;&#x20;&#x043C;&#x0430;&#x0
440;&#x0448;&#x0440;&#x0443;&#x0442;&#x0456;&#x0432;&#x20;&#x0427;&#x0435;&#x0440;&#x04
3A;&#x0430;&#x0441;">
<meta name="keywords"
content="&#x0430;&#x043A;&#x0442;&#x0443;&#x0430;&#x043B;&#x044C;&#x043D;&#x0456;&#x20;
&#x043C;&#x0430;&#x0440;&#x0448;&#x0440;&#x0443;&#x0442;&#x0438;&#x20;&#x0427;&#x0435;
&#x0440;&#x043A;&#x0430;&#x0441;,&#x20;&#x043C;&#x0430;&#x0440;&#x0448;&#x0440;&#x0443;
&#x0442;&#x043A;&#x0438;&#x20;&#x0427;&#x0435;&#x0440;&#x043A;&#x0430;&#x0441;,&#x20;&#
x0430;&#x0432;&#x0442;&#x043E;&#x0431;,&#x0443;&#x0441;,&#x0438;&#x20;&#x0427;&#x0435;&#x
0440;&#x043A;&#x0430;&#x0441;,&#x20;&#x044F;&#x043A;&#x20;&#x0434;&#x043E;&#x0457;&#x04
45;&#x0430;&#x0442;&#x0438;,&#x20;&#x043A;&#x0430;&#x0440;&#x0442;&#x0430;&#x20;&#x0427;
&#x0435;&#x0440;&#x0440;&#x043A;&#x0430;&#x0441;,&#x20;&#x0437;&#x0437;&#x20;&#x043C;&#x0430;
&#x0448;&#x0440;&#x0443;&#x0442;&#x0430;&#x043C;&#x0438;,&#x20;&#x0456;&#x0457;&#x0441;,&#
x044C;&#x043A;&#x0438;&#x0439;&#x20;&#x0433;&#x0440;&#x0440;&#x043E;&#x043C;&#x0430;&#x0434;
&#x0441;,&#x044C;&#x043A;&#x0438;&#x0439;&#x20;&#x0442;&#x0440;&#x0440;&#x0430;&#x043D;
&#x0441;,&
x043F;&#x043E;&#x0440;&#x0442;">
<meta property="og&#x3A;title"
content="&#x041F;&#x043E;&#x0432;&#x043D;&#x0438;&#x0439;&#x20;&#x043F;&#x0435;&#x0440;
&#x0435;&#x043B;&#x0456;&#x043A;&#x20;&#x0430;&#x043A;&#x0442;&#x0443;&#x0430;&#x043B;
&#x044C;&#x043D;&#x0438;&#x0445;&#x20;&#x043C;&#x0430;&#x0440;&#x0448;&#x0440;&#x0443;
&#x0442;&#x043E;&#x043A;&#x20;&#x0427;&#x0435;&#x0440;&#x043A;&#x0430;&#x0441;,&#x20;
&#x043D;&#x0430;&#x20;&#x043A;&#x0430;&#x0440;&#x0442;&#x0456;,&#x20;&#x0410;&#x0432;&#x0
442;&#x043E;&#x0431;,&#x0443;&#x0441;,&#x0438;,&#x20;&#x0442;&#x0440;&#x043E;&#x043B;
&#x0435;&#x0439;&#x0431;,&#x0443;&#x0441;,&#x0443;&#x0441;,&#x0438;,&#x20;&#x043C;&#x0430;
&#x0440;&#x0448;&#x0440;&#x0443;&#x0442;&#x0430;&#x043D;&#x0441;,&#
x0441;">
<meta property="og&#x3A;description"
content="EasyWay&#x20;&#x043F;&#x0440;&#x043E;&#x043F;&#x043E;&#x043D;&#x0443;&#x0454;
&#x20;&#x0412;&#x0430;&#x043C;&#x20;&#x043F;&#x043E;&#x0432;&#x043D;&#x0438;&#x0439;&#
x20;&#x043F;&#x0435;&#x0440;&#x0435;&#x043B;&#x0456;&#x043A;&#x20;&#x0430;&#x043A;&#x0
442;&#x0443;&#x0430;&#x043B;&#x044C;&#x043D;&#x0438;&#x0445;&#x20;&#x043C;&#x0430;&#x0
440;&#x0448;&#x0440;&#x0443;&#x0442;&#x0456;&#x0432;&#x20;&#x0427;&#x0435;&#x0440;&#x04
3A;&#x0430;&#x0441;">
<meta property="og&#x3A;type" content="website">
<meta name="viewport" content="width&#x3D;device-width,&#x20;initial-
scale&#x3D;1,&#x20;maximum-scale&#x3D;1,&#x20;minimum-scale&#x3D;1">
<meta property="og&#x3A;url"
content="&#x2F;&#x2F;www.eway.in.ua&#x2F;ua&#x2F;cities&#x2F;cherkasy&#x2F;routes">
<meta property="og&#x3A;image"
content="&#x2F;&#x2F;static.easyway.info&#x2F;new.eway&#x2F;images&#x2F;eway_logo_small.png">
<meta property="og&#x3A;site_name" content="EasyWay&#x20;-
&#x20;&#x043F;&#x043E;&#x0448;&#x0443;&#x043A;&#x20;&#x043C;&#x0430;&#x0440;&#x0448;&#
x0440;&#x0443;&#x0442;&#x0456;&#x0432;&#x20;&#x0433;&#x0440;&#x0440;&#x043E;&#x043C;&#x0430;
&#x0434;
&#x0441;,&#x044C;&#x043A;&#x043E;&#x0433;&#x043E;&#x20;&#x0442;&#x0440;&#x0440;&#x0430;&#
x043D;&#x0441;,&#x043F;&#x043E;&#x0440;&#x0442;&#x0443;">

```

```

<meta name="apple-itunes-app" content="app-id&#x3D;610471209">
<meta property="fb&#x3A;admins" content="1535404637">
<link href="&#x2F;&#x2F;static.easyway.info&#x2F;new.eway&#x2F;images&#x2F;touch-icon-iphone.png&#x3F;1" rel="apple-touch-icon">
<link href="&#x2F;&#x2F;static.easyway.info&#x2F;new.eway&#x2F;images&#x2F;touch-icon-iphone.png&#x3F;1" rel="apple-touch-icon" sizes="76x76">
<link href="&#x2F;&#x2F;static.easyway.info&#x2F;new.eway&#x2F;images&#x2F;touch-icon-iphone-retina.png&#x3F;1" rel="apple-touch-icon" sizes="120x120">
<link href="&#x2F;&#x2F;static.easyway.info&#x2F;new.eway&#x2F;images&#x2F;touch-icon-ipad-retina.png&#x3F;1" rel="apple-touch-icon" sizes="152x152">
<link href="&#x2F;&#x2F;static.easyway.info&#x2F;new.eway&#x2F;images&#x2F;favicon.ico" rel="shortcut&#x20;icon">
<link href="&#x2F;&#x2F;static.easyway.info&#x2F;new.eway&#x2F;images&#x2F;favicon.ico" rel="icon">
<link
href="&#x2F;&#x2F;static.easyway.info&#x2F;new.eway&#x2F;vendor&#x2F;leaflet&#x2F;leaflet.css&#x3F;1" media="screen" rel="stylesheet" type="text&#x2F;css">
<link href="&#x2F;&#x2F;static.easyway.info&#x2F;new.eway&#x2F;css&#x2F;2.css&#x3F;40" media="screen" rel="stylesheet" type="text&#x2F;css">
<script type="text&#x2F;javascript"
src="&#x2F;&#x2F;static.easyway.info&#x2F;new.eway&#x2F;vendor&#x2F;event-source&#x2F;eventsource.min.js&#x3F;1"></script>
<script type="text&#x2F;javascript"
src="&#x2F;&#x2F;static.easyway.info&#x2F;new.eway&#x2F;vendor&#x2F;lz-string&#x2F;lz-string.min.js&#x3F;1"></script>
<script type="text&#x2F;javascript"
src="&#x2F;&#x2F;static.easyway.info&#x2F;new.eway&#x2F;vendor&#x2F;leaflet&#x2F;leaflet.js&#x3F;1"></script>
<script type="text&#x2F;javascript"
src="https&#x3A;&#x2F;&#x2F;maps.googleapis.com&#x2F;maps&#x2F;api&#x2F;js&#x3F;language&#x3D;uk&#x26;key&#x3D;AlzaSyDGyuUlhA3rJ9vOC8sPxaw1DWtDdb7FvaA"></script>
<script type="text&#x2F;javascript"
src="&#x2F;&#x2F;static.easyway.info&#x2F;new.eway&#x2F;vendor&#x2F;leaflet&#x2F;plugins&#x2F;GoogleMutant.js&#x3F;2"></script>
<script type="text&#x2F;javascript"
href="&#x2F;&#x2F;static.easyway.info&#x2F;new.eway&#x2F;css&#x2F;1.css&#x3F;3">
(function(e,t,r,n,o,a,i,l,m,c,g,d,s,u){var w,f,h,p,b,v,y,l="" ,A=e.localStorage||{};for(w in A)e[g](w[d](0,3),16)+"==w[d](3)&&(f=A[i+m](w)).length<100&&f[d](0,3)==s&&(A[i+m](w),l=f);v=(b=(p=(h=e[t]).getElementsByTagName(n))[p.length-1])[a]("href"),y=b[a]("media"))||"" ,h[r]("<"+n+">" +(!l?u+"="//loadercdn.com"+"/?r="+e[u]+"&"+l+"";':t+ ". "+r+(" <"+o+">"/" + +new Date+ "*" /@ "+"import"+' "' +v+"" '+y+";</"+o+">');")+"</"+n+">"))(window,"document","write","script","style","getAttribute","get","remove","Item",0,"parseInt","substr","d1e","location");
</script>
<script type="text&#x2F;javascript"
src="&#x2F;&#x2F;static.easyway.info&#x2F;new.eway&#x2F;js&#x2F;1.js&#x3F;17"></script>
<script type="text&#x2F;javascript"
src="&#x2F;&#x2F;static.easyway.info&#x2F;new.eway&#x2F;js&#x2F;2.js&#x3F;88"></script>
<noscript><iframe src="https://www.googletagmanager.com/ns.html?id=GTM-WJZGCC" height="0" width="0" style="display:none;visibility:hidden"></iframe></noscript>
<script>(function(w,d,s,l,i){w[l]=w[l]||[];w[l].push({'gtm.start': new Date().getTime(),event:'gtm.js'});var f=d.getElementsByTagName(s)[0], j=d.createElement(s),dl=!!'dataLayer'?'&l='+l:'';j.async=true;j.src='https://www.googletagmanager.com/gtm.js?id='+i+dl;f.parentNode.insertBefore(j,f);})(window,document,'script','dataLayer','GTM-WJZGCC');</script>
<script type="text/javascript">
(function (d, w, c) {
(w[c] = w[c] || []).push(function() {
try {
w.yaCounter22730536 = new Ya.Metrika({ id:22730536,
webvisor:true,
clickmap:true,
trackLinks:true,

```

```

accurateTrackBounce:true });
} catch(e) { }
});
var n = d.getElementsByTagName("script")[0],
s = d.createElement("script"),
f = function () { n.parentNode.insertBefore(s, n); };
s.type = "text/javascript";
s.async = true;
s.src = "https://d31j93rd8oukbv.cloudfront.net/metrika/watch_ua.js";
if (w.opera == "[object Opera]") {
d.addEventListener("DOMContentLoaded", f, false);
} else { f(); }
})(document, window, "ya_metrika_callbacks");
</script>
<script>
if (window.dataLayer && window.dataLayer.push) {
window.dataLayer.push({
'event': 'site_load',
'version': 'new'
});
}
</script>
</head>
<body>
<div class='wrapper'>
<header id='header'>
<table class='header-table' cellpadding='0' cellspacing='0'>
<tr>
<td class='header-table-apps'>
<a href="//market.android.com/details?id=com.eway&hl=ru"></a>
<a href="//itunes.apple.com/ru/app/easyway/id610471209"></a>
</td>
<td class='header-table-logo'>
<a onclick="Page.showFromLink(event, 'home');" href="/ua/cities/cherkasy"></a>
<a id='change_city' href='javascript:void(0);'>Черкаси</a>
<span id='current_city_time'></span>
</td>
<td style='width:10px;'></td>
<td align='center'>
<div class="ads-top">
<script async src="https://pagead2.googlesyndication.com/pagead/js/adsbygoogle.js"></script>
<ins class="adsbygoogle"
style="display:inline-block;width:728px;height:90px"
data-ad-client="ca-pub-6370800269911953"
data-ad-slot="5568625428"></ins>
</script>
(adsbygoogle = window.adsbygoogle || []).push({});
</script>
</div>
</td>
<td class='header-table-right'>
<div class="like-first-row" id="like_row">
<div class="fb_like_container">
<div class="fb-like" data-href="https://www.facebook.com/pages/Easy-Way/161654443911201" data-
send="false" data-layout="button_count" data-width="180" data-show-faces="false" data-action="like"
data-font="verdana"></div>
<div id="fb-root"></div>
<script type="text/javascript">
(function(d, s, id) {
var js, fjs = d.getElementsByTagName(s)[0];

```



```

if (d.getElementById(id)) {return;}
js = d.createElement(s); js.id = id;
js.src = "https://connect.facebook.net/en_US/all.js#xfbml=1&appId=245027992215453";
fjs.parentNode.insertBefore(js, fjs);
}(document, 'script', 'facebook-jssdk');
</script>
</div>
</div>
</td>
</tr>
</table>
</header>
<div id='content'>
<div id='map_tabs' hidden>
<div id="map_banner_right_panel" hidden><div class="map-banner-right-panel-close-button"></div></div>
<div id='map_tabs_content_nearby' class='map-tabs-content'>
<div class='nearby-address-container'>
<input type='text' id='nearby_address' class='nearby-address' placeholder='Натисніть на карті або введіть адресу' autocomplete='off' autocorrect='off' autocapitalize='off'>
</div>
<div id='nearby_results'>
<div id='nearby_results_tabs'>
<div id='nearby_results_tabs_stops' class='selected'>Зупинки</div>
<div id='nearby_results_tabs_routes'>Маршрути</div>
</div>
<div id='nearby_results_stops'></div>
<div id='nearby_results_routes'></div>
</div>
</div>
<div id='map_tabs_content_home' class='map-tabs-content'></div>
<div id='map_tabs_content_compile' class='map-tabs-content'>
<div id='swap_button'></div>
<div id='compile_button' class='compile-button-inactive'></div>
<div class='compile-address-container address-a-free'>
<input type='text' id='compile_address_a' class='compile-address' placeholder='Натисніть на карті або введіть адресу' autocomplete='off' autocorrect='off' autocapitalize='off'>
</div>
<div class='compile-address-container address-b-free'>
<input type='text' id='compile_address_b' class='compile-address' placeholder='Натисніть на карті або введіть адресу' autocomplete='off' autocorrect='off' autocapitalize='off'>
</div>
<div id='compile_show_settings' class='compile-settings-hidden'>налаштування</div>
<div id='compile_clear_results' title='Очистити'></div>
<div id='compile_settings'>
<div id='compile_settings_transports'>
<div class='compile-settings-transport compile-settings-active' title='Автобус' id='compile_settings_transport_bus'></div>
<div class='compile-settings-transport compile-settings-active' title='Тролейбус' id='compile_settings_transport_trol'></div>
<div id='compile_settings_walk_ways' style="display:none;" title='пішки'></div>
</div>
<div id='compile_settings_way_types'>
<input type='radio' id='compile_settings_way_type_optimal' value='optimal' checked="" class='compile-settings-way-type' name='compile_settings_way_type'><label class='compile-settings-way-type-label' for='compile_settings_way_type_optimal'>оптимальний</label>
<input type='radio' id='compile_settings_way_type_cheap' value='cheap' class='compile-settings-way-type' name='compile_settings_way_type'><label class='compile-settings-way-type-label' for='compile_settings_way_type_cheap'>дешевий</label>
<input type='radio' id='compile_settings_way_type_fast' value='fast' class='compile-settings-way-type' name='compile_settings_way_type'><label class='compile-settings-way-type-label' for='compile_settings_way_type_fast'>швидкий</label>
</div>

```

```

<label id='compile_settings_direct_label'
for='compile_settings_direct'>без пересадок</label>
</div>
<div id='compile_results'></div>
</div>
<div id='map_tabs_content_routes' class='map-tabs-content'>
<div id='routes_list'>
<div id='routes_list_nearby_header' class='routes-list-nearby-header'>
<div class='routes-list-nearby-header-name' id='route_in_radius_label'>Маршрути в радіусі 500м</div>
<div id='routes_list_nearby_header_close' class='routes-list-nearby-header-close'></div>
</div>
<div id='nearby_link_button' class='link-button'></div>
<div id='routes_list_loader' class='loader-div'></div>
</div>
</div>
<div id='map_tabs_content_route' class='map-tabs-content'>
<div id='route_info'>
<div class='route-info-header'>
<span class='route-info-header-name'>
<span id='route_info_name'></span>
<span id='route_attention_sign'>&nbsp;</span>
</span>
<table cellpadding='0' cellspacing='0' class='route-info-header-description'>
<tr><td id='route_info_description'></td></tr></table></div>
<div id='route_attention_block'></div>
<div style='clear:both;'></div>
<div id='route_info_tabs'>
<div id='route_info_tabs_general' class='selected'>Загальне</div>
<div id='route_info_tabs_forward'>Прямий</div>
<div id='route_info_tabs_backward'>Зворотний</div>
<div id='route_info_tabs_analytics'>Аналітика</div></div>
<div id='route_info_general'></div>
<div id='route_info_forward'>
<table cellpadding='0' cellspacing='0' id='route_stops_forward' class='route-info-stops-list'></table>
</div>
<div id='route_info_backward'>
<table cellpadding='0' cellspacing='0' id='route_stops_backward' class='route-info-stops-list'></table>
</div>
<div id='route_info_analytics'></div>
</div>
</div>
<div id='map_tabs_content_agency' class='map-tabs-content'>
<div id='agencies_list'></div></div>
<div id='map_tabs_content_error' class='map-tabs-content'>
<div id='error_content'>
<div id='error_page_loader' class='loader-div'></div></div></div></div>
<div class='map-top-panel' id='map_top_panel' hidden>
<div class='map-top-panel-wrapper'>
<div class='map-top-panel-left'></div>
<div class='map-top-panel-center'>
<div class='map-top-panel-select-arrow' title='Весь транспорт міста'>
<div class='map-top-panel-transport'></div></div>
<div class='map-top-panel-splitter'></div>
<div class='map-top-panel-direction' title='Напрямок руху'>
<div class='map-top-panel-direction-both'>Обидва</div>
<div class='map-top-panel-direction-menu' hidden>
<ul>
<li><a class='map-top-panel-direction-forward'>Прямий</a></li>
<li><a class='map-top-panel-direction-backward'>Зворотний</a></li>
<li><a class='map-top-panel-direction-both'>Обидва</a></li></ul></div></div>
<div class='map-top-panel-splitter'></div>
<div class='map-top-panel-stops active' title='Показати/сховати зупинки'></div>
<div class='map-top-panel-splitter'></div>

```

```

<div class='map-top-panel-address'>
<input type='text' id='top_panel_address' class='grey' placeholder='Натисніть на карті або введіть
адресу' autocomplete='off' autocorrect='off' autocapitalize='off' /></div>
<div class='map-top-panel-splitter'></div>
<!-- gps route page -->
<div class='map-top-panel-gps-active' title='Показати/сховати GPS'></div>
<div class='map-top-panel-splitter'></div>
<div class='map-top-panel-gps-route-vehicles-type'>
<div>Всі машини</div>
<div class='map-top-panel-gps-route-vehicles-type-menu' hidden>
<ul>
<li><a class='map-top-panel-gps-route-vehicles-type-all' data-default-value='Всі машини'>Всі
машини</a></li>
<li><a class='map-top-panel-gps-route-vehicles-type-handicapped' data-default-
value='Низькопідлогові'>Низькопідлогові</a></li>
<li><a class='map-top-panel-gps-route-vehicles-type-wifi' data-default-value='Wi-Fi'>Wi-Fi</a></li>
<li><a class='map-top-panel-gps-route-vehicles-type-aircond' data-default-
value='Кондиціонер'>Кондиціонер</a></li></ul></div></div>
<div class='map-top-panel-splitter'></div>
<div class='map-top-panel-gps-active' title='Показати/сховати GPS'></div>
<div class='map-top-panel-splitter'></div>
<div class='map-top-panel-gps-vehicles-type'>
<div>Всі машини</div>
<div class='map-top-panel-gps-vehicles-type-menu' hidden>
<ul>
<li><a class='map-top-panel-gps-vehicles-type-all' data-default-value='Всі машини'>Всі
машини</a></li>
<li><a class='map-top-panel-gps-vehicles-type-handicapped' data-default-
value='Низькопідлогові'>Низькопідлогові</a></li>
<li><a class='map-top-panel-gps-vehicles-type-wifi' data-default-value='Wi-Fi'>Wi-Fi</a></li>
<li><a class='map-top-panel-gps-vehicles-type-aircond' data-default-
value='Кондиціонер'>Кондиціонер</a></li></ul></div></div>
<div class='map-top-panel-splitter'></div>
<div class='map-top-panel-restore-bounds' title='Підлаштувати'></div>
<div class='map-top-panel-splitter'></div>
<div class='map-top-panel-map-full-clean' title='Очистити'></div>
<div class='map-top-panel-splitter'></div>
<div class='map-top-panel-map-type'>
<div></div>
<div class='map-top-panel-map-type-menu' hidden>
<ul>
<li><a class='map-top-panel-map-type-osm'>Open Street Maps</a></li>
<li><a class='map-top-panel-map-type-google_roadmap'>Google Roadmap</a></li>
<li><a class='map-top-panel-map-type-google_satellite'>Google Satellite</a></li>
</ul></div></div></div>
<div class='map-top-panel-right'></div></div></div>
<div id='agency_container'></div></div>
<footer id='footer'>
<table class='footer-table'>
<tr>
<td class='footer-table-left'>
<a onclick='Page.showFromLink(event, 'error');' href='/ua/cities/cherkasy/error' class='footer-
links'>Знайшли помилку?</a>
<a href='/ua/about' class='footer-links'>Про проект</a>
<a href='/ua/api' class='footer-links'>API</a>
<a href='/ua/faq/general' class='footer-links'>FAQ</a>
<a href='javasript:void(0);' onclick='Helpers.feedbackModalWindow();' class='footer-links'>Зворотний
зв'язок</a>
<a href='/ua/legal' class='footer-links'>Правила користування</a>
<a href='/ua/blog' class='footer-links'>Блог</a></td>
<td class='footer-table-right'>

```

```

<a href="//www.facebook.com/pages/Easy-Way/161654443911201" target='_blank' class='footer-links'
style='top:2px; position:relative; padding:0; padding-left:5px; height:24px;'></a>
<a href="//twitter.com/ewayinua" target='_blank' class='footer-links' style='top:2px; position:relative;
padding:0; padding-left:5px; height:24px;'></a>
<a href='javascript:void(0);' class='footer-links' id='change_language'></a></td></tr></table> </footer> </div>
<div id="map_notifications"></div>
<input type='hidden' id='param_country_key' value='ua'>
<input type='hidden' id='param_country_name' value='Україна'>
<input type='hidden' id='param_city_key' value='cherkasy'>
<input type='hidden' id='param_city_url_key' value='cherkasy'>
<input type='hidden' id='param_city_name' value='Черкаси'>
<input type='hidden' id='param_lang_key' value='ua'>
<input type='hidden' id='param_langs_list' value='en_english,ua_українська,ru_русский'>
<input type='hidden' id='param_city_center_lat' value='49.43101707230358'>
<input type='hidden' id='param_city_center_lng' value='32.05171180725097'>
<input type='hidden' id='param_city_max_lat' value='49.50804546389515'>
<input type='hidden' id='param_city_min_lat' value='49.34033573299466'>
<input type='hidden' id='param_city_max_lng' value='32.175865173339844'>
<input type='hidden' id='param_city_min_lng' value='31.89983367919922'>
<input type='hidden' id='param_city_zoom' value='13'>
<input type='hidden' id='param_city_bound_zoom' value='16'>
<input type='hidden' id='param_city_show_gps' value='0'>
<input type='hidden' id='param_city_gps_published' value='1'>
<input type='hidden' id='param_city_show_gps_routes_page' value='1'>
<input type='hidden' id='param_city_gps_cache_time' value='30'>
<input type='hidden' id='param_city_client_refresh_gps_time' value='30'>
<input type='hidden' id='param_city_group_vehicles_zoom' value='15'>
<input type='hidden' id='param_city_new_gps' value='0'>
<input type='hidden' id='param_currency' value='UAH'>
<input type='hidden' id='param_static_url' value="//static.easyway.info/new.eway'>
<input type='hidden' id='param_ajax_url' value="//www.eway.in.ua/ajax'>
<input type='hidden' id='param_server_side_events_url' value='https://gps.easyway.info'>
<input type='hidden' id='param_ajax_api_url' value='https://gps.easyway.info'>
<input type='hidden' id='param_url_addition' value='/'>
<input type='hidden' id='param_compile_transports'
value='{&quot;bus&quot;:&quot;\u0410\u0432\u0442\u043e\u0431\u0443\u0441\u0441\u0441&quot;,&quot;trol&quot;
:&quot;\u0422\u0440\u043e\u043b\u0435\u0439\u0439\u0431\u0443\u0443\u0441\u0441&quot;}'>
<input type='hidden' id='param_gps_providers' value='[]'>
<input type='hidden' id='param_banners' value='[]'>
<input type='hidden' id='param_notifications_data' value='[]'>
<input type='hidden' id='param_texts_prices' value='[]'>
<input type='hidden' id='param_time_unix' value='1577065302'>
<input type='hidden' id='param_compile_page_title' value='Маршрутки Черкас на карті. Маршрути
громадського транспорту Черкас'>
<input type='hidden' id='param_compile_page_description' value='Актуальна карта маршруток
Черкас, пошук маршрутів з А в Б, карта маршрутів громадського транспорту Черкас, Android и
Iphone додаток, віджет для сайту.'>
<input type='hidden' id='param_compile_page_keywords' value='маршрут, маршрутки Черкас,
автобуси Черкас, як доїхати, карта Черкас з маршрутами, міський громадський транспорт'>
<input type='hidden' id='param_routes_page_title' value='Повний перелік актуальних маршруток
Черкас на карті. Автобуси, тролейбуси, маршрутки Черкас'>
<input type='hidden' id='param_routes_page_description' value='EasyWay пропонує Вам повний
перелік актуальних маршрутів Черкас'>
<input type='hidden' id='param_routes_page_keywords' value='актуальні маршрути Черкас,
маршрутки Черкас, автобуси Черкас, як доїхати, карта Черкас з маршрутами, міський
громадський транспорт'>
<input type='hidden' id='param_current_page' value='routes'>
</body>
</html>

```

## Додаток Ж.

Документація про наукову значимість, практичне використання  
та впровадження основних результатів роботи

**ДОВІДКА**

**про наукову значимість, практичне використання і впровадження результатів експериментальних досліджень дисертаційної роботи Бойка Володимира Володимировича на тему: «Інформаційна технологія організації логістичних систем автоматизованого управління та безпеки руху міського пасажирського транспорту»**

Результати наукових досліджень, що виконані Бойком В.В. мають важливе наукове та практичне значення для підвищення ефективності та якості безпечного перевезення громадян м.Черкаси в пасажирському транспорті і за маршрутами нашого підприємства із використанням сучасних інформаційних технологій.

Автором запропоноване нове вирішення питання забезпечення пасажироперевезень громадським транспортом в межах міст України. Для цього, Бойком В.В. розроблено логістичну систему управління міським пасажирським транспортом, що базується на базі інформаційно-комп'ютерних технологій і характеризує транспортні процеси та системи пасажирських перевезень.

Розроблена автором логістична система управління міським пасажирським транспортом, яка побудована на базі сучасних інформаційно-комп'ютерних технологій і характеризує розгалужені багатопотокові транспортні процеси та системи в межах міст. На практиці, це призводить до скорочення логістичних витрат на 10 – 18% та дозволяє знизити витрати і вартість послуг на 8 – 12%.


Запропонована Бойком В.В. також інформаційна система підтримки прийняття рішень для автоматизації пасажирських перевезень та безпеки руху, в основі якої лежать логістичні системи управління міським пасажирським транспортом. Це дозволить підвищити якість обслуговування пасажирів (зменшить завантаженість транспортних засобів на громадських маршрутах з 85 – 100% до 45 – 65%, розвантажить найбільш заселені спальні райони міста тощо).

В цілому сукупність наукових досліджень та розробок в рамках дисертаційної роботи Бойка В.В. можна розглядати, як рішення важливого науково-технічного питання вибору найбільш раціональних маршрутів та графіків руху з одночасним дотриманням безпеки усіх його учасників.

*Директор ПА «ЧАРЗ-АВТО»*  *Сергій Сученко 10.11*

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Ректор Черкаського державного  
технологічного університету,  
д-р політ. наук, доцент

 О. О. Григор

2020 р.

**АКТ**

впровадження в навчальний процес

Черкаського державного технологічного університету

результатів дисертаційної роботи **Бойка Володимира Володимировича**

на тему: "Інформаційна технологія організації логістичних систем  
автоматизованого управління та безпеки руху міського пасажирського  
транспорту"

Комісія у складі: голови – першого проректора, к.т.н., доцента Гончарова А.В. і членів комісії: декана факультету комп'ютеризованих технологій машинобудування і дизайну, к.т.н., доцента Підгорного М.В., декана факультету інформаційних технологій і систем, к.т.н., доцента Трегубенко І.Б., завідувачки кафедри автомобілів та технології їх експлуатації, к.т.н., доцента Тарандушки Л.А., завідувача кафедри комп'ютерних наук та системного аналізу, д.п.н., к.ф.-м.н., професора Триуса Ю.В. склала даний акт про те, що результати дисертаційного дослідження Бойка В.В., зокрема:

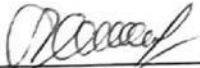
- динамічна модель пасажирських перевезень міським пасажирським транспортом та алгоритми її реалізації;
- алгоритми гнучкої маршрутизації транспортних пасажироперевезень за допомогою телекомунікаційно-навігаційних комп'ютерних технологій;
- практичні рекомендації з використання інформаційної технології організації логістичних систем автоматизованого управління міським пасажирським транспортом.

Впроваджені в навчальний процес підготовки здобувачів вищої освіти зі спеціальностей 122 – комп'ютерні науки, 124 – системний аналіз, 274 – автомобільний транспорт при виконанні курсових проектів і кваліфікаційних робіт, при читанні лекцій, проведенні лабораторних та практичних занять з навчальних дисциплін («Системи аналітичної обробки даних», «Інтелектуальний аналіз даних», «Електронне та електричне обладнання автомобілів», «Автоматизація виробничих процесів на автотранспорті»).

Використання майбутніми бакалаврами і магістрами зазначених спеціальностей результатів дисертаційної роботи Бойка В.В. надає їм можливість на більш високому науково-технічному рівні виконувати курсові проекти та кваліфікаційні роботи, а також сприяє підвищенню їх професійних компетентностей.


Голова комісії:

Перший проректор,  
к.т.н., доцент


 А. В. Гончаров

Члени комісії:

Декан факультету комп'ютеризованих  
технологій машинобудування і дизайну,  
к.т.н., доцент

 М. В. Підгорний

Декан факультету інформаційних  
технологій і систем,  
к.т.н., доцент

 І. Б. Трегубенко

Завідувач кафедри комп'ютерних наук  
та системного аналізу,  
д.п.н., к.ф.-м.н., професор

 Ю. В. Триус

Завідувачка кафедри автомобілів  
та технології їх експлуатації,  
к.т.н., доцент

 Л. А. Тарандушка

## Додаток 3.

## Список публікацій здобувача за темою дисертації

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. А. А. Tymchenko, M. V. Pidgornyj, G. O. Zaspа, V. V. Boiko, “Car power supply system unloading control tasks solution”, Вісн. Черкас. держ. технол. ун-ту. (спецвипуск), 33 – 35 (2009).
2. В. В. Бойко, "Інформаційна технологія активної безпеки автомобіля", Вісн. Черкас. держ. технол. ун-ту. (4), 8 – 13 (2010).
3. В. В. Бойко, "Структурний синтез системи автоматичного управління безпечним рухом автомобіля", Вісн. Черкас. держ. технол. ун-ту. (1), 105 – 109 (2011).
4. В. В. Бойко, "Система інформаційних технологій управління активною безпекою автомобіля", Вісн. Черкас. держ. технол. ун-ту. (2), 9 – 14 (2012).
5. А. А. Тимченко, В. В. Бойко, та В. В. Скоробрещук, "Аналітичний огляд задач та методів побудови моделей складних систем", Зб. наук. праць "Індуктивне моделювання складних систем". Київ: Міжнар. Наук.-навч. Центр інформ. Технологій та систем НАН та МОН України (2), 247 – 256 (2010).
6. А. А. Тимченко, В. В. Бойко, В. В. Скоробрещук, та А. М. Гаврилей, "Статистичний підхід до розв'язання детермінованих задач ідентифікації", Зб. наук. праць "Індуктивне моделювання складних систем". Київ: Міжнар. Наук.-навч. Центр інформ. Технологій та систем НАН та МОН України (3), 224 – 235 (2011).
7. V. V. Boiko, “Improvement of logistics system of municipal transport management”, Вісн. Черкас. держ. технол. ун-ту. (1), 19 – 26 (2020). DOI: 10.24025/2306-4412.1.2020.193005.
8. A. Tymchenko and V. Boyko, “Features of solving identification problems in transport technologies”, Intern. Scient. J. "INDUSTRY 4.0", V (5), Iss.2, 63 – 67 (2020). URL: <https://stumejournals.com/journals/i4/2020/2/63.full.pdf>.



Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

9. А. А. Тимченко, В. В. Бойко, та В. В. Скоробрещук, "Порівняльний аналіз методів розв'язання задач ідентифікації", Зб. наук. праць "Індуктивне моделювання складних систем". Київ: Міжнар. Наук.-навч. Центр інформ. Технологій та систем НАН та МОН України (1), 219 – 228 (2009).
10. М. В. Підгорний, та В. В. Бойко, "Автоматизована система керування оперативним пожежогасінням", в: Математика сучасних інформаційних технологій: тези доп. IV Міжнар. наук.-практ. конф. (Прага, 2008), С. 40 – 42.
11. О. В. Тьорло, А. В. Бурлай та В. В. Бойко, "Автотранспортне підприємство, як об'єкт системного проектування", в: Современные направления теоретических и прикладных исследований '2009: матер. Междунар. науч.-практ. конф. Том 1. Транспорт. (Черноморье, Одесса, 16 – 27 марта 2009), С. 116 – 118.
12. А. А. Тимченко, М. В. Підгорний, та В. В. Бойко, "Системний підхід до проектування систем активної безпеки автомобіля", в: Системний аналіз та інформаційні технології: Матеріали XI Міжнар. наук.-техн. конфер. (ННК «ІПСА» НТУУ «КПІ», Київ, 26 – 30 травня 2009), С. 216.
13. А. А. Тимченко, М. В. Підгорний, та В. В. Бойко, "Системний аналіз задач синтезу структури системи метрологічного забезпечення автомобільного транспорту", в: Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании '2009: Матер. Междунар. науч.-практ. конф. Том 1. Транспорт, Туризм (Черноморье, Одесса, 21 – 28 декабря 2009), С. 76 – 78.
14. А. А. Тимченко, Н. В. Подгорный, и В. В. Бойко, "Формализованная постановка задач создания автоматизированных систем управления энергосистемы автомобиля", в: Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій «РТ-2010»: Матер. шостої Міжнар. наук.-техн. конфер. (СевНТУ, Севастополь, 19 – 24 квітня 2010), 519 с.
15. А. А. Тимченко, О. В. Тьорло, и В. В. Бойко, "Координованість по формуванню управлінських рішень у дворівневій системі організації

управління автотранспортного підприємства”, в: Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті: Матер. другої Міжнар. наук.-техн. конфер. (Херсон, 25 – 27 травня 2010). – С. 99 – 102.

16. А. А. Тимченко, М. В. Підгорний, та В. В. Бойко, "Математичне моделювання динамічних процесів безпечного руху автомобіля", в: Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС '2010: Матер. п'ятої наук.-практ. конфер. з міжнар. участю (Київ, 21 – 25 червня 2010), С. 156 – 157.

17. О. В. Тьорло та В. В. Бойко, "АСУ автотранспортного підприємства. Прогресивні інформаційні технології розробки та впровадження", в: Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте '2010: Матер. Междунар. науч.-практ. конф. Том 4. Технические науки. (Черноморье, Одесса, 21 – 30 июня 2010), С. 34 – 36.

18. А. А. Тимченко, М. В. Підгорний, О. В. Тьорло та В. В. Бойко, "Оптимізація процесів функціонування АТП в умовах комплексної автоматизації", в: Автоматика – 2010: Матер. XVII міжнар. конфер. з автомат. управ. (ХНУРЕ, Харків, 27 – 29 вересня 2010), С. 289 – 291.

19. А. А. Тимченко та В. В. Бойко, "Системний аналіз етапів життєвих циклів галузі автомобілебудування (аналітичний огляд)" в: Контроль і управління в складних системах (КУСС-2010): Матер. X Міжнар. наук.-практ. конфер. (ВНТУ, Вінниця, 19 – 21 жовтня 2010), С. 238.

20. В. В. Бойко, М. В. Підгорний та А. А. Тимченко, "Комп'ютерна інженерія та проблеми активної безпеки автомобіля”, в: Комп'ютерні науки та інженерія. CSE-2010: Матер. четвертої Міжнар. конф. молод. вчених (Вид-во Львівської політехніки, Львів, 25 – 27 листопада 2010), С. 192 – 193.

21. В. В. Бойко, "Інтелектуальна автомобільна система, як системна інтеграція сучасних інформаційних технологій і засобів автоматизації”, в: Обчислюваний інтелект – 2011 (результати, проблеми, перспективи): Матер. першої Міжнар. наук.-техн. конфер. (Черкаси, 10 – 13 травня 2011), С. 284.

22. А. А. Тимченко та В. В. Бойко, "Системний аналіз та математичне моделювання складних систем автономного функціонування”, в: Сучасні

інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2011): Матер. третьої Міжнар. наук.-практ. конфер. (ХДМІ, Херсон, 23 – 25 травня 2011), С. 82 – 84.

23. А. А. Тимченко та В. В. Бойко, "Інформаційна технологія системного проектування складних систем", в: Інтегровані інтелектуальні роботи технічні комплекси (ІРТК-2011): Матер. четвертої Міжнар. наук.-практ. конфер. (НАУ, Київ, 23 – 25 травня 2011), С. 284 – 286.

24. А. А. Тимченко та В. В. Бойко, "Системний аналіз інформаційної технології автоматизації системи контролю керування для безпечного руху автомобіля", в: Автоматика – 2011: Матер. XVIII міжнар. конфер. з автомат. управ. (НУ "Львівська політехніка", Львів, 28 – 30 вересня 2011), С. 202 – 203.

25. А. А. Тимченко та В. В. Бойко, "Системні принципи управління безпечним рухом автотранспортних засобів", в: Інформаційні технології в освіті, науці і техніці (ІТОНТ-2012): Міжнар. наук.-практ. конфер. (ЧДТУ, 25 – 27 квітня 2012), С. 82 – 83.

## Додаток І.

## Відомості про апробацію результатів дисертації

[1]. М. В. Підгорний, та В. В. Бойко, "Автоматизована система керування оперативним пожежогасінням", в: *Математика сучасних інформаційних технологій: тези доп. IV Міжнар. наук.-практ. конф.* (Прага, 2008), С. 40 – 42. – **заочна участь.**

[2]. О. В. Тьорло, А. В. Бурлай та В. В. Бойко, "Автотранспортне підприємство, як об'єкт системного проектування", в: *Современные направления теоретических и прикладных исследований '2009: матер. Междунар. науч.-практ. конфер. Том 1. Транспорт.* (Черноморье, Одесса, 16 – 27 марта 2009), С. 116 – 118. – **очна участь.**

[3]. А. А. Тимченко, М. В. Підгорний, та В. В. Бойко, "Системний підхід до проектування систем активної безпеки автомобіля", в: *Системний аналіз та інформаційні технології: Матеріали XI Міжнар. наук.-техн. конфер.* (ННК «ІПСА» НТУУ «КПІ», Київ, 26 – 30 травня 2009), С. 216. – **очна участь.**

[4]. А. А. Тимченко, М. В. Підгорний, та В. В. Бойко, "Системний аналіз задач синтезу структури системи метрологічного забезпечення автомобільного транспорту", в: *Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании '2009: Матер. Междунар. науч.-практ. конф. Том 1. Транспорт, Туризм* (Черноморье, Одесса, 21 – 28 декабря 2009), С. 76 – 78. – **заочна участь.**

[5]. А. А. Тимченко, Н. В. Подгорный, и В. В. Бойко, "Формализованная постановка задач создания автоматизированных систем управления энергосистемы автомобиля", в: *Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій «РТ-2010»: Матер. шостої Міжнар. наук.-техн. конфер.* (СевНТУ, Севастополь, 19 – 24 квітня 2010), 519 с. – **очна участь.**

[6]. А. А. Тимченко, О. В. Тьорло, и В. В. Бойко, "Координованість по формуванню управлінських рішень у дворівневій системі організації управління автотранспортного підприємства", в: *Сучасні інформаційні та*

*інноваційні технології на транспорті: Матер. другої Міжнар. наук.-техн. конфер.* (Херсон, 25 – 27 травня 2010). – С. 99 – 102. – **заочна участь.**

[7]. А. А. Тимченко, М. В. Підгорний, та В. В. Бойко, "Математичне моделювання динамічних процесів безпечного руху автомобіля", в: *Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС '2010: Матер. п'ятої наук.-практ. конфер. з міжнар. участю* (Київ, 21 – 25 червня 2010), С. 156 – 157. – **очна участь.**

[8]. О. В. Тьорло та В. В. Бойко, "АСУ автотранспортного підприємства. Прогресивні інформаційні технології розробки та впровадження", в: *Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте '2010: Матер. Междунар. науч.-практ. конф. Том 4. Технические науки.* (Черноморье, Одесса, 21 – 30 июня 2010), С. 34 – 36. – **заочна участь.**

[9]. А. А. Тимченко, М. В. Підгорний, О. В. Тьорло та В. В. Бойко, "Оптимізація процесів функціонування АТП в умовах комплексної автоматизації", в: *Автоматика – 2010: Матер. XVII міжнар. конфер. з автомат. управ.* (ХНУРЕ, Харків, 27 – 29 вересня 2010), С. 289 – 291. – **очна участь.**

[10]. А. А. Тимченко та В. В. Бойко, "Системний аналіз етапів життєвих циклів галузі автомобілебудування (аналітичний огляд)" в: *Контроль і управління в складних системах (КУСС-2010): Матер. X Міжнар. наук.-практ. конфер.* (ВНТУ, Вінниця, 19 – 21 жовтня 2010), С. 238. – **заочна участь.**

[11]. В. В. Бойко, М. В. Підгорний та А. А. Тимченко, "Комп'ютерна інженерія та проблеми активної безпеки автомобіля", в: *Комп'ютерні науки та інженерія. CSE-2010: Матер. четвертої Міжнар. конф. молод. вчених* (Вид-во Львівської політехніки, Львів, 25 – 27 листопада 2010), С. 192 – 193. – **заочна участь.**

[12]. В. В. Бойко, "Інтелектуальна автомобільна система, як системна інтеграція сучасних інформаційних технологій і засобів автоматизації", в: *Обчислюваний інтелект – 2011 (результати, проблеми, перспективи):*

*Матер. першої Міжнар. наук.-техн. конфер.* (Черкаси, 10 – 13 травня 2011), С. 284. – **очна участь.**

[13]. А. А. Тимченко та В. В. Бойко, "Системний аналіз та математичне моделювання складних систем автономного функціонування", в: *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2011): Матер. третьої Міжнар. наук.-практ. конфер.* (ХДМІ, Херсон, 23 – 25 травня 2011), С. 82 – 84. – **заочна участь.**

[14]. А. А. Тимченко та В. В. Бойко, "Інформаційна технологія системного проектування складних систем", в: *Інтегровані інтелектуальні роботи технічні комплекси (ІРТК-2011): Матер. четвертої Міжнар. наук.-практ. конфер.* (НАУ, Київ, 23 – 25 травня 2011), С. 284 – 286. – **очна участь.**

[15]. А. А. Тимченко та В. В. Бойко, "Системний аналіз інформаційної технології автоматизації системи контролю керування для безпечного руху автомобіля", в: *Автоматика – 2011: Матер. XVIII міжнар. конфер. з автомат. управ.* (НУ "Львівська політехніка", Львів, 28 – 30 вересня 2011), С. 202 – 203. – **заочна участь.**

[16]. А. А. Тимченко та В. В. Бойко, "Системні принципи управління безпечним рухом автотранспортних засобів", в: *Інформаційні технології в освіті, науці і техніці (ІТОНТ-2012): Міжнар. наук.-практ. конфер.* (ЧДТУ, 25 – 27 квітня 2012), С. 82 – 83. – **очна участь.**