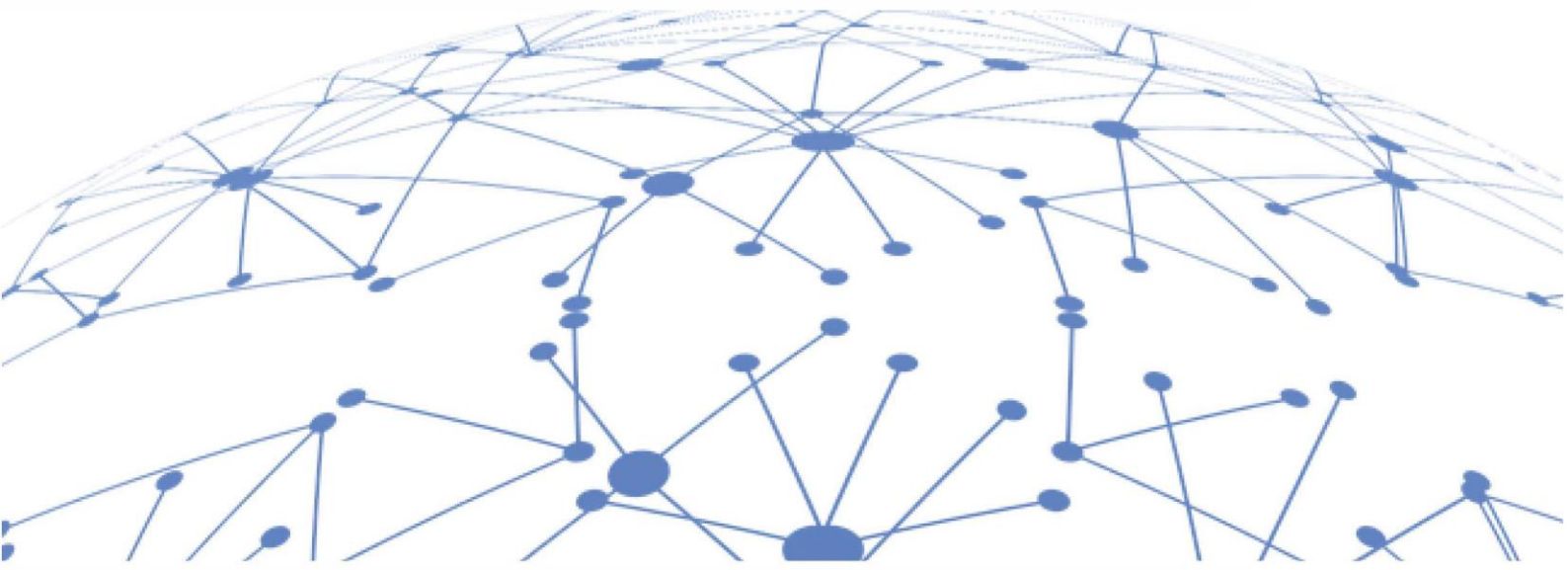


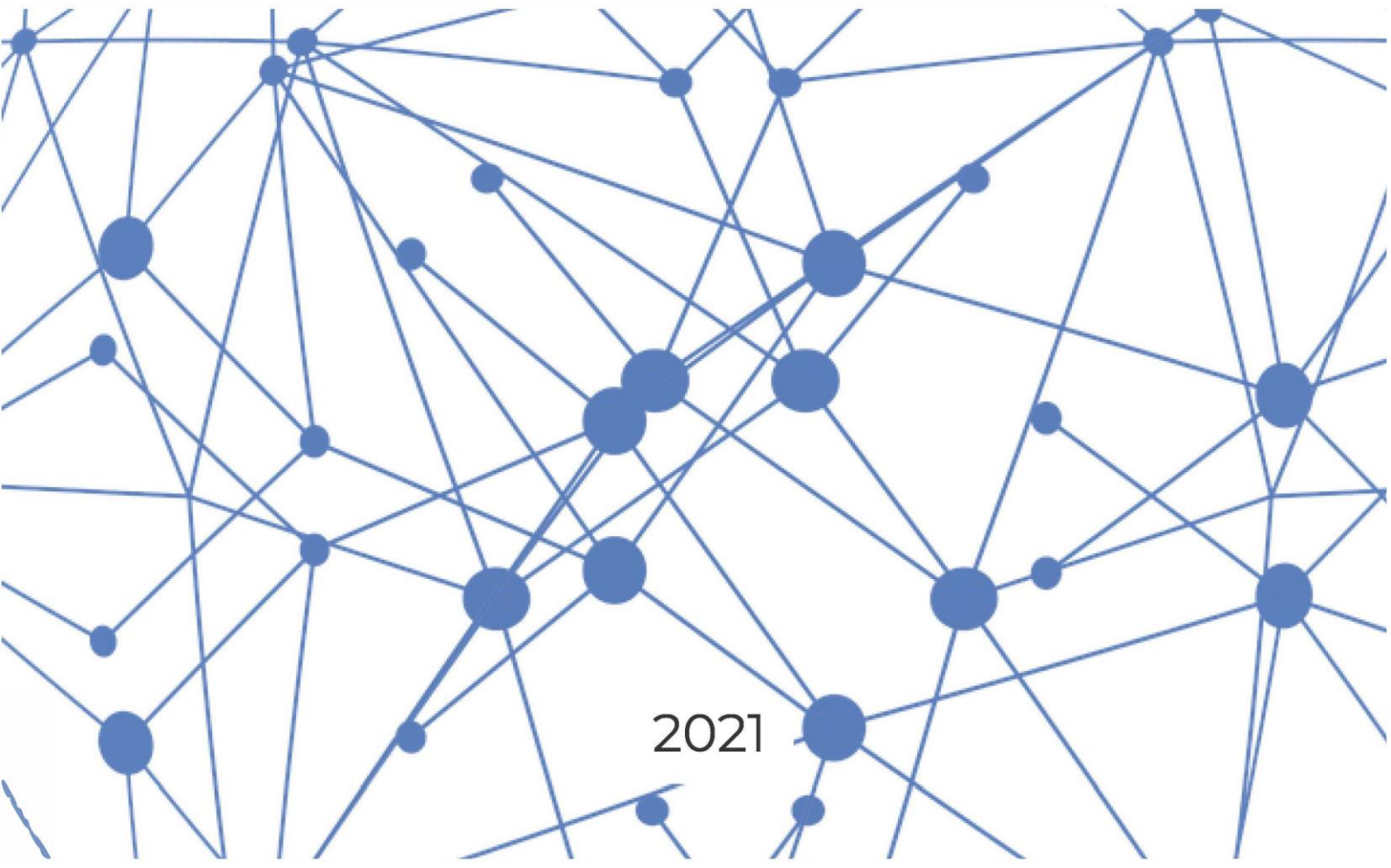


Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



SMART TRANSPORT AND LOGISTICS FOR CITIES

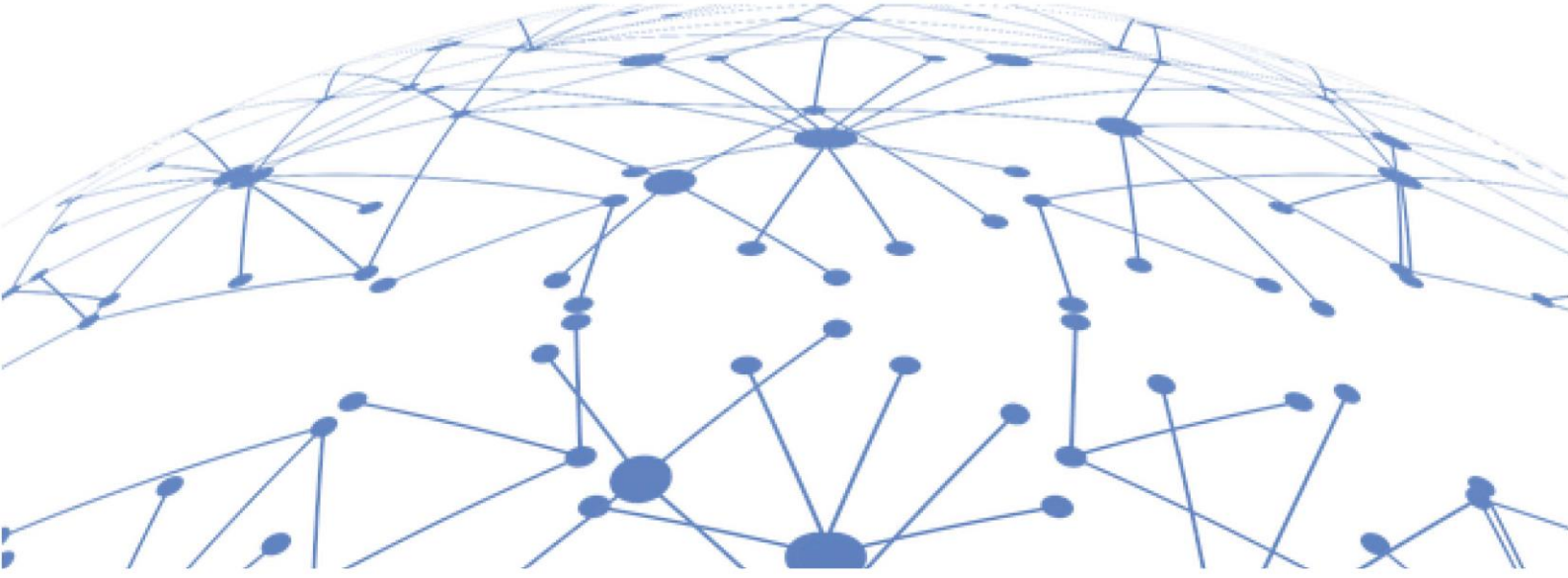
Joint Manual



2021

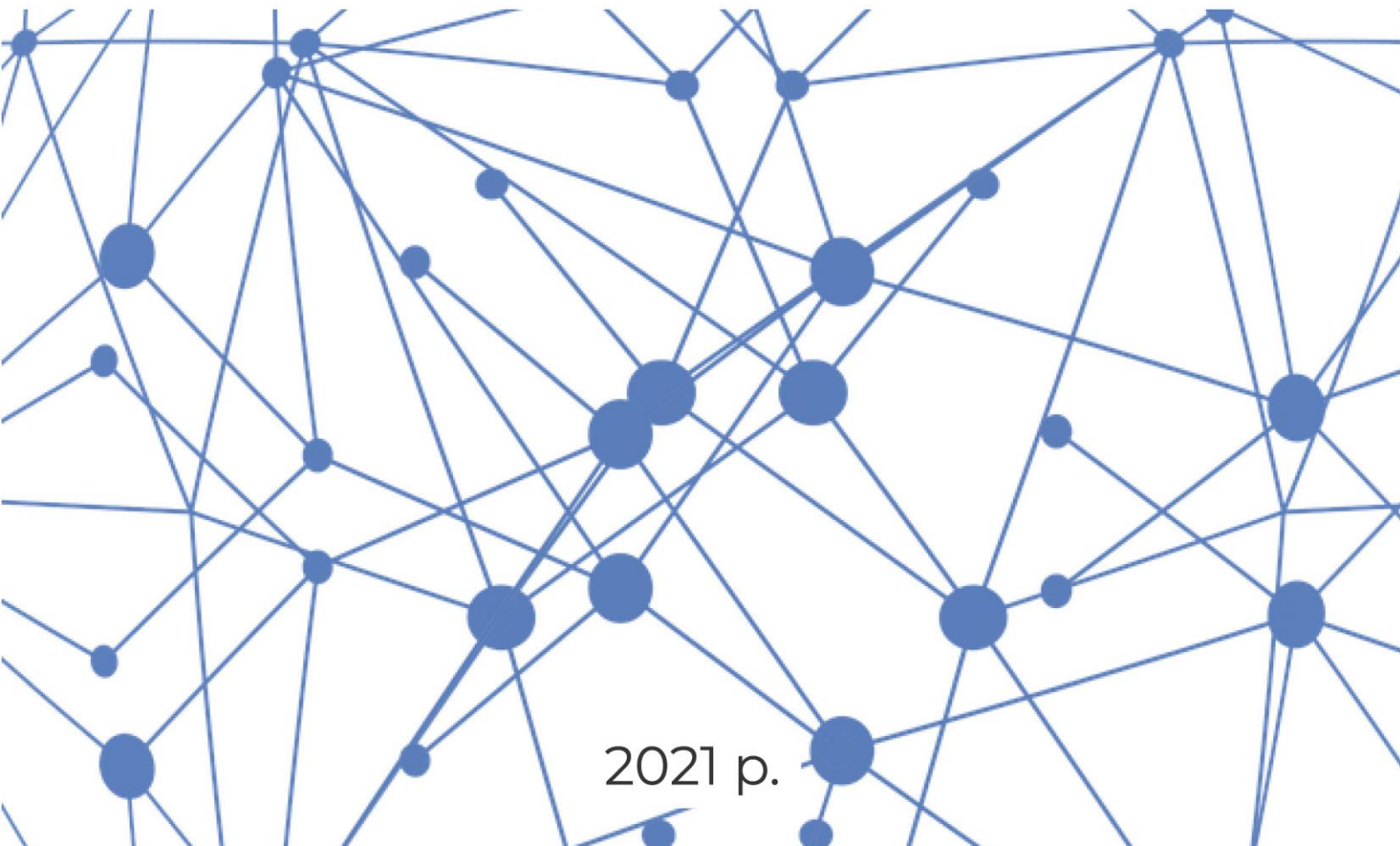


Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



РОЗУМНИЙ ТРАНСПОРТ І ЛОГІСТИКА ДЛЯ МІСТ

Навчальний посібник



2021 р.



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Розумний транспорт і логістика для міст

Навчальний посібник



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Smart Transport and Logistics for Cities

Joint Manual



Цей проєкт фінансується за підтримки Європейської Комісії. Ця публікація відображає лише погляди авторів і Комісія не несе відповідальності за будь-яке використання інформації, що міститься в цій публікації

Авторський колектив:

Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова:
професор, д.т.н. *О.О. Лобашов*, доцент, к.т.н. *М.В. Ольхова*, доцент, д.т.н. *А.С. Галкін*,
доцент, к.т.н. *О.В. Прасоленко*, доцент, к.т.н. *Є.І. Куш*,
доцент, к.т.н. *О.В. Россолов*, доцент, к.т.н. *Д.М. Рославцев*, доцент, к.т.н. *К.Є. Вакуленко*

Національний транспортний університет:

професор, д.т.н. *В.П. Поліщук*, доцент, к.т.н. *О.П. Дзюба*, доцент, к.т.н. *О.М. Куницька*,
доцент, к.т.н. *Л.В. Савченко*, доцент, к.т.н. *С.В. Янішевський*

Національний університет «Львівська політехніка»:

доцент, к.т.н. *М.М. Жук*, доцент, к.т.н. *В.В. Гілевич*,
доцент, к.т.н. *В.В. Ковалишин*, старший викладач *Г.В. Півторак*

Державний університет «Житомирська політехніка»:

професор, д.т.н. *О.П. Кравченко*, доцент, к.т.н. *А.В. Ільченко*,
к.т.н. *Д.Б. Бегерський*, к.т.н. *В.П. Шумляківський*

Координатор проєкту: професор *Антоніо Комі*, Університет Риму «Тор Вергата», Італія

Рецензенти: *Кристочук Михайло Євгенович*, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри транспортних технологій і технічного сервісу Національний університет водного господарства та природокористування.

Меленчук Тетяна Михайлівна, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри транспортних технологій та менеджменту Одеської державної академії технічного регулювання та якості.

Буркинський Борис Володимирович, доктор економічних наук, академік НАН України, професор, директор Інституту проблем ринку та економіко-екологічних досліджень НАН України.

Ільченко Світлана Віталіївна, доктор економічних наук, професор, завідувач відділу ринку транспортних послуг Інституту проблем ринку та економіко-екологічних досліджень НАН України.

Стаханов Сергій Ігорович, директор ТОВ «КОМКОН ТРАФІК» (асоційований партнер проєкту SmaLog).

Р64 Розумний транспорт і логістика для міст : навчальний посібник / [авт. колетив: О.О. Лобашов, М.В. Ольхова, А.С. Галкін та ін.] – Житомир : «Житомирська політехніка», 2021. – 612 с. – ISBN 978-966-683-587-4

Навчальний посібник для студентів спеціальності 275 «Транспортні технології», що здобувають ступінь магістра за освітньою програмою «Розумний транспорт та міська логістика». Даний посібник розроблено в рамках міжнародного проєкту 585832-EPP-1-2017-1-IT-EPPKA2-SVNE-JP «Магістерська програма з смарт транспорту і міської логістики». У посібнику основна увага приділена питанням, пов'язаним із функціонуванням міських пасажирських і вантажних транспортних систем, використанням інтелектуальних транспортних систем для вирішення транспортних проблем міст, функціонування розумного транспорту, організацією та управлінням дорожнім рухом. Розглянуті питання визначення ефективності міських транспортних систем, людського фактору у міських логістичних системах, моделювання та управління транспортними потоками. Авторами посібника значна увага приділена використанню сучасного програмного забезпечення при вирішенні проблем міської логістики та управління і організації дорожнього руху у містах. При викладенні матеріалу враховано передовий закордонний досвід вирішення розглянутих проблем, а також особистий досвід авторів, здобутий як при роботі в Україні, так і під час закордонних стажувань в провідних європейських університетах.

ISBN 978-966-683-587-4

© Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Національний транспортний університет, Національний університет «Львівська політехніка», Державний університет «Житомирська політехніка», 2021



This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Collective of authors:

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv:

Lobashov Oleksiy, Olkhova Mariia, Galkin Andrii, Prasolenko Oleksii, Kush Yevhen, Rossolov Oleksandr, Roslavtsev Dmytro, Vakulenko Kateryna

National Transport University:

Polishchuk Volodymyr, Dziuba Oleksandr, Kunytska Olha, Savchenko Lidia, Yanishevskiy Serhii

Lviv Polytechnic National University:

Mykola Zhuk, Volodymyr Hilevych, Volodymyr Kovalyshyn, Pivtorak Halyna

Zhytomyr Polytechnic State University:

Kravchenko Oleksandr, Ilchenko Andrii, Beherskyi Dmytro, Shumliakivskiy Volodymyr

Supervisor: *Prof. Antonio Comi*, University of Rome Tor Vergata, Italy.

Reviewers: *Mykhailo Krystopchuk*, Doctor of Philosophy, Associate Professor, Head of the Department of Transport Technologies and Technical Service, National University of Water and Environmental Engineering.

Tetyana Melenchuk, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Transport Technologies and Management, Odessa State Academy of Technical Regulation and Quality.

Borys Boryskiy, Doctor of Economics, Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine, Professor, Director of the Institute of Market Problems and Economic and Environmental Research of the National Academy of Sciences of Ukraine.

Svitlana Ilchenko, Doctor of Economics, Professor, Head of the Transport Services Market Department, Institute of Market Problems and Economic and Environmental Research of the National Academy of Sciences of Ukraine.

Serhiy Stakhanov, director of the LLC “Comcon Traffic” (associate partner of the SmaLog project).

The manual of “Transport technologies” 275 specialty is tailored for the students obtaining a Master degree according to “Smart transport and city logistics” educational programme.

This joint manual was developed within the framework of the international project Erasmus+ KA2 CBHE: 585832-EPP-1-2017-1-IT-EPPKA2-CBHE-JP " Master in SMARt transport and LOGistics for cities "(SMALOG) (2017-2021).

The manual is mostly focused on issues related to public and cargo transport systems operation, intellectual transport systems application in order to solve city transport problems, smart transport functioning, road traffic organization and management. The issues connected to the definition of city transport systems efficiency, human factor in city logistic systems, traffic flows building and management. The authors of the manual have significantly paid attention to the sophisticated software application while solving the problems related to city logistics, road traffic management and its organization in cities.

The manual content is based on the advanced foreign experience in solving the mentioned above problems and also the personal authors’ experience gained both while being employed in Ukraine and undertaking internships abroad at leading European higher educational institutions.

Acknowledgement

The authors gratefully acknowledge colleagues from each institution participating in SmaLog with whom almost all topics covered in this report were discussed over the Project development. The authors are thankful to the editors and the reviewers for their suggestions which were most useful in revising the report. The activity leading to these results has received funding from the European Community’s Erasmus+, under grant agreement 585832-EPP-1-2017-1-IT-EPPKA2-CBHE-JP.

ЗМІСТ

Передмова	9
Розділ 1. Розумний транспорт і логістика для міст	13
<i>Тема 1. Інтелектуальні транспортні системи у містах</i>	<i>14</i>
1.1. Стандартизація інтелектуальних транспортних систем	14
1.2. Системи управління громадським транспортом	26
1.3. Системи управління вантажним транспортом	35
<i>Тема 2. Кейс «Розумний транспорт і логістика для міст»</i>	<i>48</i>
2.1. Моделювання попиту на товари	49
2.2. Моделювання потоків міських товарів	56
2.3. Введення в моделювання інтегрованих вантажних перевезень	67
<i>Тема 3. Розумний транспорт</i>	<i>78</i>
3.1. Інформаційні технології в управлінні транспортними потоками	78
3.2. Інтелектуальні системи безпеки руху	90
3.3. Супутникові навігаційні системи на транспорті	99
Питання для самоконтролю	106
Список рекомендованої літератури	109
Розділ 2. Пасажи́рська транспортна система	114
<i>Тема 1. Міський пасажирський транспорт</i>	<i>115</i>
1.1. Моделювання маршрутних систем	115
1.2. Управління пасажирськими перевезеннями	123
1.3. Моделювання попиту на транспортні послуги	137
<i>Тема 2. Ефективність транспортних систем міст</i>	<i>149</i>
2.1. Теоретичні основи визначення ефективності транспортних систем	149
2.2. Соціальна та екологічна ефективність транспортних систем	153
2.3. Економічна ефективність транспортних систем	175
<i>Тема 3. Людина і вплив на навколишнє середовище, безпека та стійкість</i>	<i>190</i>
3.1. Вплив на навколишнє середовище	190
3.2. Людський фактор у забезпеченні надійності та стійкості міських логістичних систем	216
3.3. Безпека та стабільність міської логістики	242
Питання для самоконтролю	266
Список рекомендованої літератури	267

Розділ 3. Вантажна транспортна система	286
<i>Тема 1. Інтегровані транспортні системи в міській логістиці</i>	287
1.1. Розподіл вантажних потоків у містах та покупна активність: учасники та проблеми	287
1.2. Електронна комерція	299
1.3. Характеристика суб'єктів перевезення вантажів та ймовірність здійснення вибору виду транспорту	312
<i>Тема 2. Моделювання вантажних транспортних систем</i>	321
2.1. Вантажні транспортні системи	321
2.2. Прогнозування попиту на вантажні перевезення	343
2.3. Оцінка сценаріїв вантажних перевезень	361
Питання для самоконтролю	378
Список рекомендованої літератури	379
Розділ 4. Організація та управління дорожнім рухом	382
<i>Тема 1. Управління дорожнім рухом</i>	383
1.1. Загальні методичні положення управління дорожнім рухом	383
1.2. Управління рухом за допомогою розв'язок вулиць і доріг	394
1.3. Організація та управління пішохідним рухом	405
<i>Тема 2. Тенденції управління рухом в центрі міста</i>	426
2.1. Організація та управління велосипедним рухом	426
2.2. Організація руху маломобільних груп населення	453
2.3. Організація автомобільних стоянок (паркінгів)	472
2.4. Охорона довкілля та екологічна безпека	505
<i>Тема 3. Моделювання та управління транспортними потоками</i>	519
3.1. Моделювання транспортних потоків	519
3.2. Оцінка впливу транспортних потоків (оцінка безпеки руху)	541
3.3. Управління транспортними потоками в містах	587
Питання для самоконтролю	600
Список рекомендованої літератури	604
Ключові слова	610

CONTENT

Preface	9
Chapter 1. Smart transport and logistics for cities	13
<i>Theme 1. Intelligent transportation systems in cities</i>	<i>14</i>
1.1. Standardization of intelligent transportation systems	14
1.2. Transit management systems	26
1.3. Freight management systems	35
<i>Theme 2. Case "Smart transport and logistics for cities"</i>	<i>48</i>
2.1. Modelling the demand for goods	49
2.2. Modelling of flows of urban goods	56
2.3. Introduction to modelling of integrated freight	67
<i>Theme 3. Smart transport</i>	<i>78</i>
3.1. Information technology in traffic management	78
3.2. Intelligent traffic safety systems	90
3.3. Satellite navigation systems for transport	99
Questions	106
Bibliography	109
Chapter 2. Passenger transport system	114
<i>Theme 1. City passenger transport</i>	<i>115</i>
1.1. Modeling of route systems	115
1.2. Passenger traffic management	123
1.3. Demand modeling for transport services	137
<i>Theme 2. Efficiency of urban transport systems</i>	<i>149</i>
2.1. Theoretical bases for determining the efficiency of transport systems	149
2.2. Social and environmental efficiency of transport systems	153
2.3. Economic efficiency of transport systems	175
<i>Theme 3. Human and environmental impact on the security and stability of urban logistics</i>	<i>190</i>
3.1. Impact on the environment	190
3.2. The human factor in ensuring the reliability and sustainability of urban logistics systems	216
3.3. Security and stability of urban logistics	242
Questions	266
Bibliography	267

Chapter 3. Freight transportation system	286
<i>Theme 1. Integrated Transport Systems in City Logistics</i>	287
1.1. City Freight flows distribution and purchasing activity: participants and problems	287
1.2. E-commerce	299
1.3. Freight transportation entities characteristics and the probability of the transport mode choice	312
<i>Theme 2. Freight Transportation Simulation</i>	321
2.1. Logistics and supply chain	321
2.2. Commercial geography. Freight transportation	343
2.3. Assessing freight scenarios	361
Questions	378
Bibliography	379
Chapter 4. Road traffic management	382
<i>Theme 1. Traffic management</i>	383
1.1. Methodological foundations of traffic management	383
1.2. Traffic control using junctions of streets and roads	394
1.3. Organization and management of pedestrian traffic	405
<i>Theme 2. Traffic management trends in the city centre</i>	426
2.1. Organization and management of cycling	426
2.2. Organization of the movement of people with disabilities	453
2.3. Organization of parking lots	472
2.4. Environmental protection and ecological safety	505
<i>Theme 3. Modelling and traffic management</i>	519
3.1. Modeling traffic flows	519
3.2. Traffic Impact Assessment (Traffic Safety Assessment)	541
3.3. Traffic management in cities	587
Questions	600
Bibliography	604
Key words	610

ПЕРЕДМОВА

Стрімкий розвиток технологій призводить до необхідності адаптування всіх сфер господарювання до нових умов, і транспорт не є винятком. Ефективне функціонування транспортної системи у містах неможливо забезпечити без впровадження сучасних розумних технологій. Навчальний посібник «Розумний транспорт і логістика для міст» розроблений в межах реалізації проєкту Erasmus+ Capacity Building in the Higher Education “Smart transport and Logistics for cities”¹. Метою проєкту є розробка і впровадження передової міждисциплінарної магістерської програми «Розумний транспорт і логістика для міст» в університетах України і Грузії орієнтовану на інтеграцію інтелектуальних транспортних та інформаційних технологій в управлінні транспортними системами міст з урахуванням європейського досвіду. Ключовою особливістю програми є освітній контент, під час складання якого застосовано логістичний підхід, що базується на синергії управління вантажними і пасажирськими перевезеннями та організацією дорожнього руху для досягнення стійкої транспортної системи у містах. Метою освітньої програми є здобуття компетенцій, достатніх для вирішення складних проблем у галузі транспортних систем урбанізованих територій на основі передового досвіду та технологій, розроблених у європейських країнах у сфері інтелектуального міського транспорту та логістики. Програма реалізована у чотирьох університетах України та частково у двох університетах Грузії у співпраці з провідними науковцями Європейських університетів проф. Антоніо Комі (University of Rome Tor Vergata), проф. Лука Персія (Sapienza University of Rome), проф. Норберт Грюєнвальд (University of Applied Sciences Technology, Business and Design), проф. Олександр Сладковський (Silesian University of Technology). Основні результати проєкту для України такі:

- унікальна освітньо-наукова програма «Розумний транспорт і логістика для міст», яка впроваджена у освітній процес у чотирьох університетах;
- лабораторії, які забезпечені сучасним обладнанням для дослідження та підготовки ефективних рішень у сфері міської логістики;
- команда фахівців, що здатна вирішувати проблеми сталої міської мобільності;
- освітній контент, який підготовлений у співпраці з провідними науковцями Європейських університетів.

Навчальний посібник складається із передмови та чотирьох основних розділів. У кожному розділі надані питання для самоперевірки знань та список

¹ URL: <http://smalog-2017.uniroma2.it/>. (дата звернення: 30.07.2021).

використаних джерел. Розділ 1 «Розумний транспорт і логістика для міст» присвячено інтелектуальним технологіям на транспорті, які використовуються для розвитку сталої системи міст. Надано кейс проектування міської логістичної системи у м. Харків. У розділі 2 «Пасажирська транспортна система» розглянуті питання моделювання маршрутних систем, надано кейс зі створення транспортних моделей у PTV Visum, описані підходи щодо ефективності транспортних систем та впливу на навколишнє середовище, безпеку та стійкий розвиток. У розділі 3 «Вантажна транспортна система» проаналізовано розподіл вантажних потоків у містах та покупну активність учасників, описано сучасні тенденції електронної комерції та надано характеристику суб'єктів перевезення вантажів та ймовірність здійснення вибору виду транспорту. Розглянуті підходи щодо моделювання і аналізу сценаріїв розвитку вантажних транспортних систем. У розділі 4 «Організація та управління дорожнім рухом» наведені основні методичні положення щодо технології управління дорожнім рухом в сучасних містах та практичні напрямки вирішення актуальних задач організації та управління рухом уразливих категорій його учасників (пішоходів, велосипедистів, маломобільних груп населення). Також розглянуті особливості моделювання транспортних потоків та його застосування для цілей управління міським рухом.

Колектив авторів висловлює вдячність своїм випускникам програми за терпіння, небайдужість та наполегливу працю.

Велика подяка команді Національний Еразмус + офіс в Україні, надійним партнерам проекту із Італії, Німеччини, Польщі, Грузії та України за спільну роботу, підтримку та створення умов для особистого та професійного розвитку. Особлива подяка координатору проекту, Антоніо Комі, чий високий професіоналізм у поєднанні з щирістю зробили роботу над проектом приємною подорожжю у компанії однодумців, здатних надихати та мотивувати один одного до кращих результатів.

PREFACE

The rapid development of technology leads to the need to adapt all areas of management to new conditions, and transport is no exception. The efficient functioning of the transport system in cities cannot be ensured without the introduction of state-of-the-art smart technologies. The book "Smart transport and logistics for cities" was developed as part of the Erasmus + Capacity Building project in the Higher Education². The project aims to develop and implement an advanced interdisciplinary Master's program "Smart Transport and Logistics for Cities" in the universities of Ukraine and Georgia focused on the integration of intelligent transportation and information technologies in the management of city transport systems based on European practices. A key feature of the program is educational content, which is focused on the synergy-based logistic approach of managing freight, passengers and traffic for achieving a sustainable transport system in the cities.

The educational program aims to acquire competencies sufficient to solve complex problems in the field of transport systems of urban areas based on best practices and technologies developed in European countries in the field of smart city transport and logistics. The program is implemented in four universities of Ukraine and partly in two universities of Georgia in cooperation with leading scientists of European universities prof. Comi (University of Rome Tor Vergata), prof. Persia (Sapienza University of Rome), prof. Gruenwald (University of Applied Sciences Technology, Business and Design), prof. Sladkowski (Silesian University of Technology). The main outcomes of the project for Ukraine are as follows:

- unique educational program "Smart transport and logistics for cities", which is implemented in the educational process at four universities;
- laboratories equipped with contemporary equipment for research and preparation of effective solutions for city logistics;
- a team of specialists capable of solving the problems of sustainable mobility;
- educational content prepared in collaboration with leading scientists from European universities.

The book consists of a preface and four main Chapters, each Chapter provides questions and a bibliography. Chapter 1 "Smart Transport and Logistics for Cities" focuses on intelligent transport technologies used to develop a sustainable city transportation system. A case of designing a city logistics system in Kharkiv is provided. Chapter 2 "Passenger Transport System" describes the modeling of route systems,

² URL: <http://smalog-2017.uniroma2.it/>. (30.07.2021).

provides a case for the creation of transport models in PTV Visum, describes approaches to the efficiency of transport systems and the impact on the environment, safety and sustainable development. Chapter 3 "Freight Transport System" analyzes the distribution of freight flows in cities and purchasing activity of participants, describes current trends in e-commerce and provides a description of the subjects of freight transportation and the probability of choosing the transport mode. Approaches to modeling and analysis of scenarios for the development of freight transport systems are considered. Section 4 "Traffic control" is devoted to the general methodological provisions of traffic control, traffic control at intersections of streets and roads and the organization and management of pedestrian traffic. The main tendencies and approaches of solving actual problems of traffic control in the central parts of current cities are also considered.

The authors express gratitude to the students and the graduates of the program for their patience, indifference and hard work.

Many thanks to the National Erasmus + team in Ukraine, reliable project partners from Italy, Germany, Poland, Georgia and Ukraine for joint work, support and creation of conditions for personal and professional development. Special thanks to the project coordinator, Antonio Comi, whose high professionalism combined with sincerity made working on the project a pleasant journey in the company of like-minded people who can inspire and motivate each other to achieve better results.

РОЗДІЛ 1. РОЗУМНИЙ ТРАНСПОРТ І ЛОГІСТИКА ДЛЯ МІСТ

Розділ присвячено інтелектуальним технологіям на транспорті, які використовуються для розвитку сталої системи міст. У першій темі проведено аналіз сучасного стану процесу стандартизації інтелектуальних транспортних систем, розглянуті системи управління громадським транспортом, інформації про подорожуючих, методи ІКТ та ІТС для підтримки пасажирів в управлінні та використанні мультимодальної мережі; системи управління вантажним транспортом. У другій темі надано кейс проектування міської логістичної системи «Виробник» – «Кінцеві споживачі» – «Середовище» у м. Харків, враховуючи взаємодію попиту і пропозиції у схемах постачання, район обслуговування з індивідуальними параметрами, що залежить від уподобань споживачів, особливості транспортних комунікацій і географічні характеристики території. У третій темі проаналізовано сучасні систем збору та обробки інформації про транспортні потоки, розглянуті інтелектуальні системи безпеки дорожнього руху та системи супутникової навігації на транспорті, засоби створення мобільних картографічних систем.

CHAPTER 1 SMART TRANSPORT AND LOGISTICS FOR CITIES

Chapter 1 is devoted to smart technologies on transport, which are used for the development of a city sustainable system. Theme 1 describes the current state of the process of standardization of intelligent transportation systems, transit management systems, methods of ICT and ITS for supporting planners and travelers in the management and fruition of multimodal network, freight management systems. Theme 2 provides a case of designing city logistics systems "Manufacturer" - "End users" - "Environment" in Kharkiv, taking into account the interaction of supply and demand in supply schemes, service area with individual parameters, depending on consumer preferences, features of transport communications and geographical characteristics of the territory. Theme 3 investigates modern systems for collecting and processing information about traffic flows, intelligent road safety systems and satellite navigation systems in transport, tools for creating mobile mapping systems.

Тема 1. Інтелектуальні транспортні системи у містах

Theme 1. Intelligent transportation systems in the cities

Ольхова М.В., А.С. Галкін, О.В. Прасоленко, Рославцев Д. М.

Olkhova Mariia, Galkin Andrii, Prasolenko Oleksii, Roslavitsev Dmytro

1.1. Стандартизація інтелектуальних транспортних систем

1.1. Standardization of intelligent transportation systems

Тенденції процесу стандартизації

Інформаційно-комунікаційні технології (далі – ІКТ) відносяться до технологій, що забезпечують доступ до інформації за допомогою телекомунікацій. Основна увага приділяється насамперед комунікаційним технологіям, включаючи Інтернет, бездротові мережі, стільникові телефони та інші комунікаційні засоби. Визначення інтелектуальних транспортних систем (далі – ІТС) наведено в Директиві Європейської комісії 2010/40/ЄС у статті 4, що характеризує ІТС як системи, в яких застосовуються інформаційно-комунікаційні технології. Європейська Комісія визначає ІТС як сучасні програми, що надають інноваційні послуги, пов'язані з різними видами транспорту та управлінням транспортними потоками [1].

Інтелектуальні транспортні системи – це назва, що використовується для опису складних сучасних систем задіяних у транспортному процесі. Ці системи включають транспортні засоби, водіїв, пасажирів, операторів дорожнього руху та керівників, які взаємодіють між собою та навколишнім середовищем, а також зв'язуються зі складними інфраструктурними системами.

Зменшення кількості загиблих та поранень у ДТП є ключовою метою багатьох служб ІТС, а також підвищення ефективності транспортних засобів та мереж дорожнього руху. Все частіше ці системи використовуються для зменшення негативного впливу транспортних систем на навколишнє середовище. Ці системи за своєю природою є інтерактивними. Для успішної роботи дані необхідно надсилати точно та своєчасно. При цьому, дані повинні знайти правильного одержувача та бути зрозумілим тому одержувачу, який може перебувати у зовсім іншій системі. Такі системи можуть успішно працювати лише тоді, коли вони розроблені відповідно до міжнародних стандартів інтелектуальних транспортних систем [2].

В останні десятиліття ІТС викликають світовий інтерес дослідників, автомобільних компаній та урядів. З метою створення економічно стійкої екосистеми ІТС проведено велику кількість проектів інститутами з усього світу. Наприклад, програма Advanced Safety Vehicle (ASV) в Японії, проєкт IntelliDrive у США та, в Європі, численні проєкти, координовані Car 2 Консорціумом Автомобільних Комунікацій (C2C-CC), за підтримки Європейської Комісії та Європейського інституту стандартів зв'язку (ETSI).

Реалізація ІТС передбачає надзвичайно велику кількість зацікавлених сторін, включаючи державні адміністрації, транспортних операторів та компанії із різних галузей промисловості (виробники транспортних засобів, телекомунікаційні компанії, споживачі електронних послуг, постачальники послуг). З технологічної і промислової точки зору, ІТС є однією із найважчих проблем, з якими стикається ІКТ спільнота. Наявність світових гармонізованих стандартів є ключовою вимогою для досягнення успіху ІТС та використання їхньої потенціалу.

Починаючи з кінця 90-х, промислові зацікавлені сторони, ЄС, США, уряди Азії інвестували величезну кількість економічних ресурсів у процес стандартизації ІТС, залучаючи численні організації з розробки стандартів (IEEE, ISO) Європейський комітет зі стандартизації (CEN), Європейський комітет зі стандартизації в електротехніці (CENLEC), Європейський інститут телекомунікаційних стандартів (ETSI), Відкрите міжнародне співтовариство проєктувальників (IETF), Товариство автомобільних інженерів (SAE), Федеральна комісія зі зв'язку США та інші. Історично Європа була світовим лідером у розробці ІТС. ЄС кількісно усвідомлює негативні наслідки заторів, пов'язаних з втратами ВВП, зниженням енергоефективності та збільшенням викидів CO₂. ІТС вважаються дуже важливими інструментами для вирішення цих питань. Інтерес до цих систем був реалізований у ряді важливих політичних актів, з величезними економічними ресурсами, наданими міжнародним науково-дослідним проєктам.

Одним із перших європейських політичних актів, що підтримують ІТС, стало заснування організації Ertico-ITS Europe у 1991 році, ініціатива провідних членів Європейської комісії, Міністерств транспорту та європейських компаній. Метою Ertico-ITS Europe є залучення інтелекту до мобільності, спільної роботи в державно-приватному партнерстві задля нульових аварій, нульових затримок, зменшення впливу на навколишнє середовище, інформування людей, доступних та безперебійних послуг, дотримання конфіденційності та гарантованої безпеки.

У своїй роботі [3] проф. Піконе зазначає, що у червні 2005 року Європейська комісія розпочала ініціативу Європейського інформаційного суспільства 2010

(i2010), комплексну стратегію модернізації та використання всіх інструментів політики ЄС для заохочення розвитку цифрової економіки. Стратегія i2010 складається з трьох опор:

- єдиний європейський інформаційний простір,
- інновації та інвестиції,
- інклюзивне європейське інформаційне суспільство.

Розумний автомобіль – розумний, безпечний та чистий транспорт зосереджений на транспортних засобах для вирішення проблем безпеки та навколишнього середовища, спричинених збільшенням дорожнього руху [3].

У 2008 році Європейська комісія зробила серйозний крок до впровадження та використання ІТС на автомобільному транспорті, прийнявши спеціальний План дій [4], метою якого є створення необхідного імпульсу для прискорення проникнення на ринок актуальних програм ІТС та послуг в Європі. Внаслідок дії цього Плану, у липні 2010 року Європейський Парламент та Європейська Рада прийняли Директиву 2010/40/ЄС [1], що встановлює правову базу для впровадження ІТС у сфері автомобільного транспорту та інтерфейсів з іншими видами транспорту. Директива 2010/40/ЄС є важливим інструментом для скоординованого впровадження ІТС в Європі, метою якого є створення сумісних та безперебійних ІТС-послуг, залишаючи державам-членам свободу вирішувати, в які системи інвестувати. Основними пріоритетами є інформація про рух та поїздки, системи аварійних ситуацій eCall та інтелектуальне паркування вантажних автомобілів.

З однієї сторони, простим є визначення стандартів ІТС, оскільки в Міжнародній організації зі стандартизації (ISO) є спеціалізований комітет ІТС. Однак на практиці питання стандартизації виявляється достатньо складним, тому що існують також регіональні стандарти, які варто враховувати, такі як Європейський інститут стандартів електрозв'язку (ETSI) та Європейський комітет зі стандартизації (CEN), а також національні стандарти, наприклад, Асоціації радіоіндустрії та бізнесу (ARIB) в Японії, рис. 1.1.

З іншої сторони стандарти, будь то міжнародні, національні чи регіональні, повинні працювати в рамках певного регулювання. Існує значна кількість регулювань такі як національні нормативні акти, Федеральна комісія з питань зв'язку США та Австралійська адміністрація зв'язку та засобів масової інформації (ACMA).



Рисунок 1.1 – Рівні стандартизації ІТС

Регулювання також є відповідальністю європейських країн, але, щоб розробити спільний ринок, Європейська конференція адміністрацій поштового зв'язку та телекомунікацій (СЕРТ) розробила «Рекомендації» для спільного використання смуг частот серед країн ЄС та інших членів СЕРТ, які бачать перевагу загальної системи на міжнародному рівні. Союз електрозв'язку (МСЕ) аналогічно розробляє рекомендації для заохочення глобальної спільноти.

Міжнародний стандарт інтелектуальних транспортних систем

Міжнародною організацією стандартизації (ISO 14813-1), зазначено, що до ІТС, в першу чергу, належать послуги для транспортних засобів та пасажирів, транспортної мережі з метою зменшення заторів. Головною рисою є те, що ІТС не працюють ізольовано. Вони часто залежать від магістральних інфраструктурних систем телекомунікаційних, інфраструктурних мереж та Інтернету. В ефірі їм часто доводиться ділитися спектром з іншими користувачами або можуть використовувати загальні бездротові системи зв'язку для надання або підтримки програм, що стосуються ІТС.

Домени та групи послуг ІТС побудовані на існуючих в США, Європейському Союзі, Японії та інших міжнародних та національних таксономій (або системах класифікації) і дають загальну описову основу для порівняння цих таксономій, а також інших, що розробляються у всьому світі. Ці структури базуються на національних технологіях кожної окремої країни. І звичайно, є національні відмінності. Однак усі вони розроблені з точки зору національної реалізації та управління та зосереджені на видах послуг, які ІТС можуть надавати, рис. 1.2.

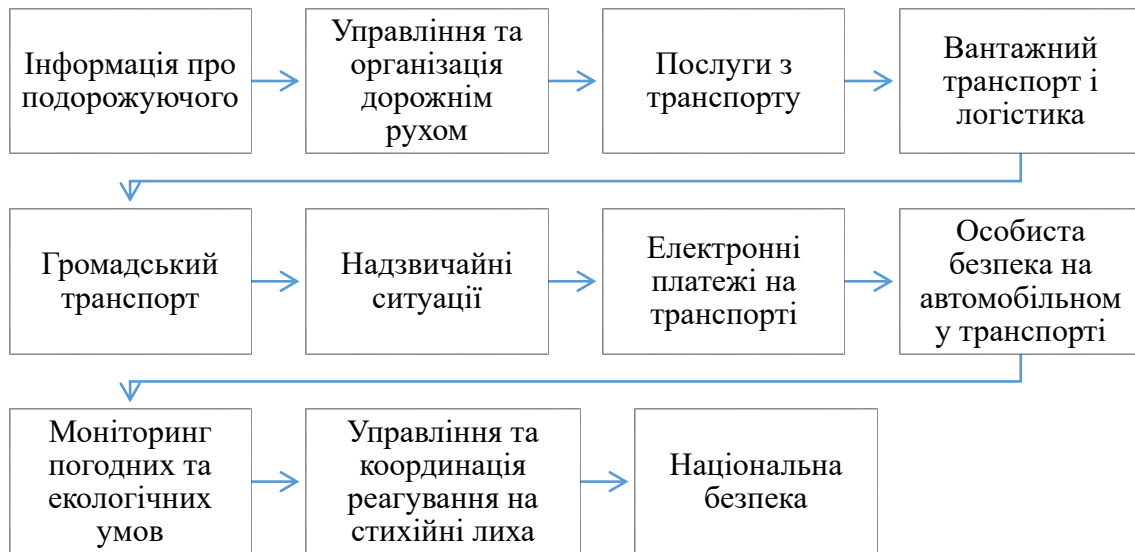


Рисунок 1.2 – Сфери послуг ІТС відповідно стандарту ISO 14813-1

З міжнародного стандарту чітко видно, що категоризація послуг на 11 областей не означає, що вся структура ІТС повинна дотримуватися виконання цих складових. Також зазначається, що послуги часто взаємозалежні або надають інші послуги в межах групи послуг або є ключовими умовами для надання послуг в інших групах послуг. Далі зауважується, що під час розробки архітектури на основі цих послуг важливо, щоб запропонована схема класифікації визначала, хто відповідає за надання послуги.

Розглянемо детально опис груп послуг відповідно стандарту ISO 14813-1.

Інформація про подорожуючого – надання користувачам статичної та динамічної інформації про транспортну мережу, включаючи різні види транспорту, рис. 1.3. Ця група включає такі послуги: попередня інформація; інформація про поїздку; напрям маршруту та попереднє підключення навігації; напрями на маршруті та навігація в поїзді; підтримка планування поїздок; інформація про туристичні послуги.

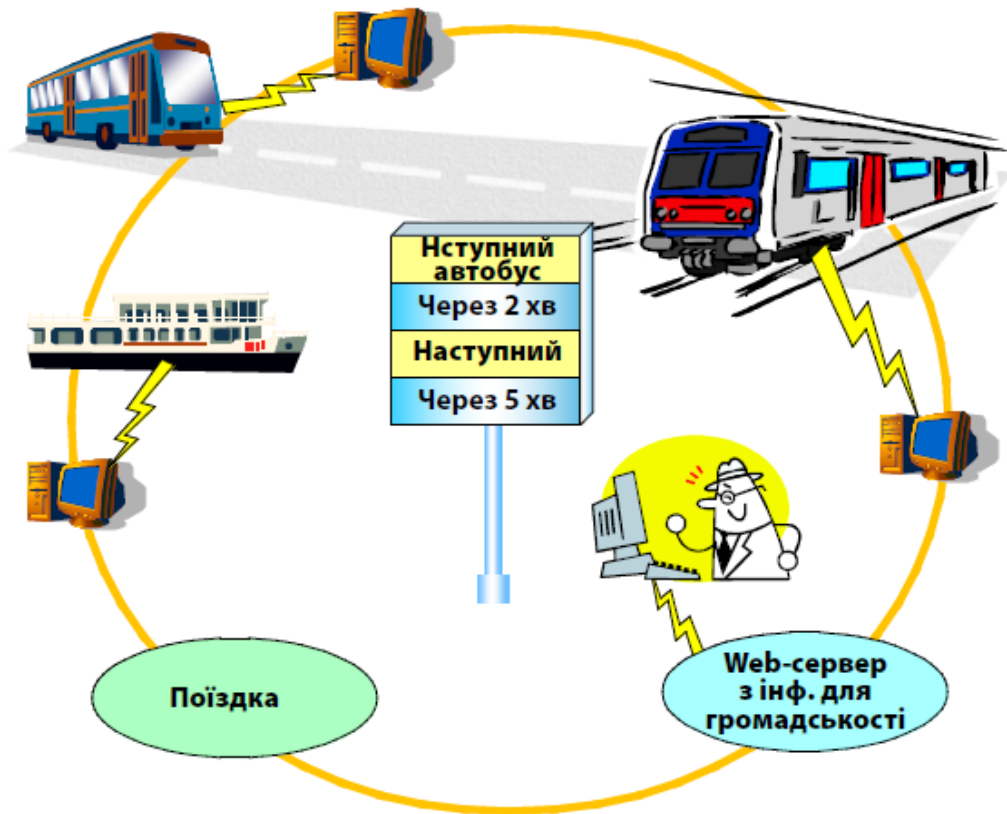


Рисунок 1.3 – Інформація про подорожуючого (Джерело: GTZ)

Інформація з різних систем громадського транспорту передається між системами. Спільні графіки та маршрути використовуються для планування поїздок різними видами транспорту. Інформація в реальному часі передається у місця пересадки та пасажиром. Така інформація використовується для затримки відправлення, якщо з'єднуюча послуга знаходиться поблизу. Кожна система може збирати інформацію різним чином, використовуючи різні технології, але ця інформація розповсюджується одним способом [5].

Управління та організація дорожнім рухом – управління переміщенням транспортних засобів, подорожуючих та пішоходів по всій дорожній транспортній мережі. Ця група включає такі послуги: управління та контроль руху; управління ДТП; управління попитом; управління технічної підтримки транспортної інфраструктури; дотримання виконання правил дорожнього руху, рис. 1.4.



Рисунок 1.4 – Центр регулювання рухом та контролю за рухом міського транспорту (Джерело: GTZ)

Функціонує центральний координаційний центр, який збирає дані про рух транспортних засобів і поїздки. Центри можуть складатися з багатьох органів, і всі дорожні, транспортні служби, служби громадського транспорту, поліція та служби дії в надзвичайних ситуаціях використовують один центр, або ж може бути декілька центрів спеціалістів, які мають зв'язки для передачі даних усім іншим центрам. У центрі відбувається контроль системи руху, яка функціонує за допомогою передаючої телевізійної камери із замкнутим контуром, інформації про надзвичайні ситуації, отриману від людей, системи RTPI, системи та операторів управління громадським транспортом, камер APIS та CCTV, які є у поліції, транспортних компаніях.

Послуги з транспорту – підвищення безпеки та ефективності в експлуатації транспортними засобами за допомогою попереджень та допомоги користувачам або управлінням роботою транспортних засобів. Сфера послуг з транспорту включає

такі послуги: поліпшення видимості, пов'язане з транспортом; автоматизована експлуатація транспортного засобу; уникнення зіткнень; готовність до безпеки; готовність до розгортання обмежувальної дії.

Вантажний транспорт та логістика – управління комерційними операціями; управління вантажоперевезеннями та парком транспортних засобів; діяльність, що прискорює процес авторизації вантажу на національних та юрисдикційних кордонах та прискорює перевезення різними видами транспорту. Ця сфера включає такі групи послуг: адміністративні функції; оформлення комерційного транспорту; адміністративні процеси комерційних транспортних засобів; автоматизована перевірка безпеки на дорогах; моніторинг безпеки на борту комерційних транспортних засобів; комерційні функції; управління парком транспортних засобів; інтермодальне управління інформацією; управління та контроль інтермодальних центрів; управління небезпечним вантажем.

Громадський транспорт – функціонування послуг громадського транспорту та надання оперативної інформації оператору та пасажиру, включаючи мультимодальні аспекти. Включає такі групи послуг: управління громадським транспортом; попит на громадський транспорт.

Надзвичайні ситуації – послуги, що надаються у відповідь на інциденти, які відносяться до категорії надзвичайних ситуацій. До них належать: повідомлення про надзвичайні ситуації та особиста безпека; відновлення після викрадення автомобіля; управління аварійними транспортними засобами; аварійне попередження автомобіля; дані про аварійний транспортний засіб; небезпечні матеріали та повідомлення про інциденти.

Електронні платежі на транспорті – транзакції та бронювання транспортних послуг, а саме: електронні фінансові операції, пов'язані з транспортом; інтеграція електронних платіжних послуг, пов'язаних з транспортом, рис. 1.5.

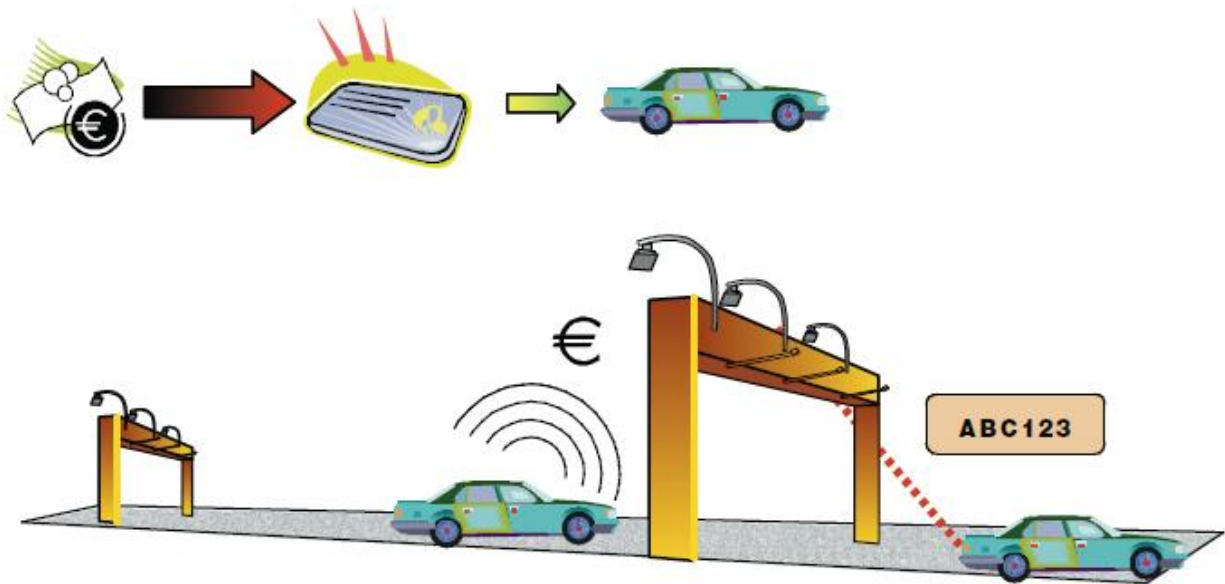


Рисунок 1.5 – Електронний збір дорожнього мита (Джерело: GTZ)

Електронний збір дорожнього мита (Electronic Toll Collection) допомагає досягти більше зручності в оплаті, вимагає менше зупинок, зменшує витрати на систему збору дорожнього мита та мінімізує витік прибутків у зв'язку з корупцією порівняно з ручними системами оплати дорожнього збору. Існують різні системи, які обслуговуються електронною карткою. Водії здійснюють передоплату з рахунку, це фіксується або на смарт-картці, або у центральній системі. Під час їзди по дорозі картка зчитується за допомогою вмонтованих сигнальних пристроїв. Картка активується і система списує з рахунку споживача плату за ту відстань, яку він проїхав станом на той момент дня. Інші системи використовують автоматичне визначення номерних знаків (APNR) для того, аби зчитувати номерні знаки транспортних засобів. Номер автомобіля співставляється із центральною базою даних, із рахунку користувача знімається певна сума. Тарифи можуть коливатися залежно від часу дня. Якщо грошей на рахунку немає, жодна карта не прикріплюється до автомобіля і номерний знак не реєструється, а камера ідентифікує номерний знак і випишує повідомлення про порушення.

Особиста безпека на автомобільному транспорті – захист користувачів транспорту, включаючи пішоходів та вразливих користувачів: безпека громадських поїздок; підвищення безпеки для вразливих учасників дорожнього руху; поліпшення безпеки дорожнього руху для інвалідів; положення безпеки для пішоходів, які використовують інтелектуальні переходи та ланки.

Моніторинг погодних та екологічних умов – діяльність, під час якої відстежується та повідомляється про погодні та екологічні умови: моніторинг екологічних умов.

Управління та координація реагування на стихійні лиха – діяльність на автомобільному транспорті у відповідь на стихійні лиха, громадянські заворушення або теракти. Включає такі групи послуг: управління даними про стихійні лиха; управління наслідками стихійних лих; координація з надзвичайними установами.

Національна безпека – діяльність, яка безпосередньо захищає або зменшує фізичну або експлуатаційну шкоду людям і спорудам внаслідок стихійних лих, цивільних заворушень або терористичних атак, а саме: моніторинг та контроль підозрілих транспортних засобів; моніторинг комунальних послуг або трубопроводів.

Управління даними ІТС – збір, управління та надання даних ІТС законним зацікавленим сторонам: реєстри даних; словники даних; аварійні повідомлення; дані центру управління та забезпечення виконання; дані управління дорожнім рухом.

Структура ІТС – це рамки для розвитку, планування, використання і діяльності ІТС. Національна логістична структура ІТС у США (USA National ITS Logical Architecture) визнає види діяльності та функції, необхідні для надання послуг користувача ІТС у вигляді дев'яти дерев функціональних процесів, рис. 1.6.

У підсумку можна зазначити, що інтелектуальні транспортні системи покликані значно покращити безпеку, ефективність та стійкість нашої транспортної системи шляхом масового застосування інформаційно-комунікацій технологій. Наявність світових гармонізованих стандартів є ключовою вимогою для досягнення успіху ІТС та використання їхнього потенціалу.

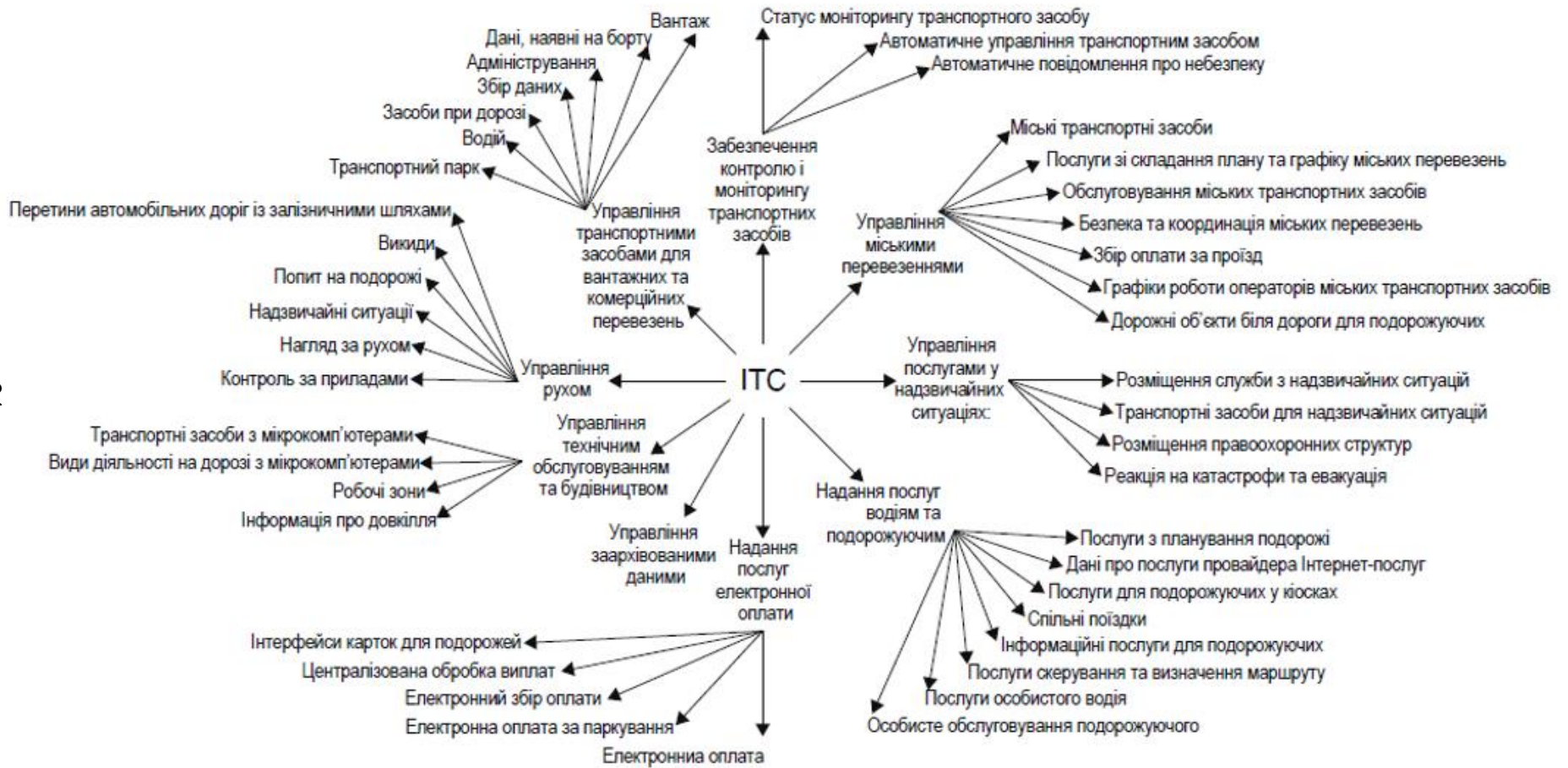


Рисунок 1.6 – Національна логістична структура ІТС у США (Джерело: GTZ)

Проблеми та стратегії вирішення

В рамках проекту Стійкого розвитку транспортної системи (SUTP) під керівництвом Німецького товариства з технічної співпраці (GTZ) розроблені рекомендації для політиків, відповідальних за прийняття рішень у містах, а також для їхніх радників щодо інструментів, які необхідно застосовувати для функціонування стійкої транспортної системи у місті. У Збірнику «Інтелектуальні транспортні системи» перелічені основні проблеми стосовно ІТС, рис. 1.7.



Рисунок 1.7 – Основні проблеми стосовно ІТС у містах

Важливість усвідомлення та ключове значення розуміння. Ключова форма ІТС у містах – системи управління транспортними операціями чи системи контролю за рухом у містах. Хоча менеджери міст потребу у ІТС усвідомлюють, однак уявлення про те, які саме можливості надають системи ІТС не відповідають дійсності. А з іншої сторони, впровадження таких систем вважається панацеєю для вирішення усіх транспортних проблем міста. Така ситуація дещо загострена через системних постачальників, які переоцінюють перевагу від їхніх технологій, оскільки їхній основний інтерес – завоювати позицію у тому, що розглядається як потенційно великий ринок. Тому потрібно не лише розуміння необхідності впровадження ІТС по суті, але й зріле розуміння обмеженості ІТС.

Фундаментальне значення раціональної транспортної політики та інституційної основи. Часто ресурси поділені між урядовими органами, і це може заважати ефективному плануванню та використанню ІТС. Технічні можливості також можуть бути обмеженими. Місцеві органи влади у багатьох країнах є

слабкими і обмеженими за своїми повноваженнями державною урядовою політикою.

Роль інтеграції. Часто обладнання ІТС використовується у найпростішій формі (наприклад збір даних, але відсутність їх застосування). І часто нові системи недостатньо інтегровані в успадкуванні системи. Часто системи ІТС не сумісні одна з одною. Потрібні нові стандарти та специфікації, для того, аби стимулювати розвиток відкритої структури застосування ІТС. Національні стратегії та стандарти розвитку ІТС проходять розвиток у різних країнах.

Бюджет і забезпечення. Бюджет не можна визначати на багато років – це може стати проблемою для проєктів, реалізація яких займає більше ніж 1 рік. Відсутність прозорої системи забезпечення – відсутність тендерних торгів може привести до вибору недосвідчених заявників, невідповідних чи дорогих приватних технологій, які можуть ніколи не спрацювати. Також можливими є конфлікти між замовником і виконавцем стосовно вимог до технічного обладнання.

Вчасне вирішення визначених проблем може привести до успішної структури, забезпечення, реалізації та операцій серед осіб, відповідальних за прийняття рішень, та професійних працівників на всіх рівнях влади і у приватному секторі. Пропоновані стратегії вирішення проблем наступні:

- стратегічне лідерство з метою встановлення рамок ІТС – розробка стандартів, протоколів, стратегій та політик;
- покращити законодавчу і регулятивну базу – розроблення урядом юридичних та регулятивних документів для надання можливості ефективного використання нових технологій (камери червоного світла, камери швидкості, збір плати і т.п.);
- полегшити отримання знань серед місцевої громадськості та у приватному секторі – розповсюдження передової практики використання ІТС, сприяння науково-дослідним розробкам, семінари, курси;
- полегшити партнерство – на усіх рівнях влади, науково-дослідні центри з метою створення спільних ресурсів;
- розробити конкурентні та прозорі процедури забезпечення;
- стимулювати міжнародну співпрацю;
- визнавати зв'язок з іншими секторами – ІТС тісно пов'язані з ініціативами у транспорті, інформаційних технологіях, мультимедіа, комунікаціях, комп'ютерній справі та інтелектуальній власності.

1.2. Системи управління громадським транспортом

1.2. Transit management systems

Інформаційна система для пасажирів у режимі реального часу

Система управління громадським транспортом (Transit Management System) надає точну інформацію про місце знаходження, задоволення потреб та безпеку поїздки. Розглянемо приклад функціонування системи управління громадським транспортом компанією Satel (Фінляндія), рис. 1.8.

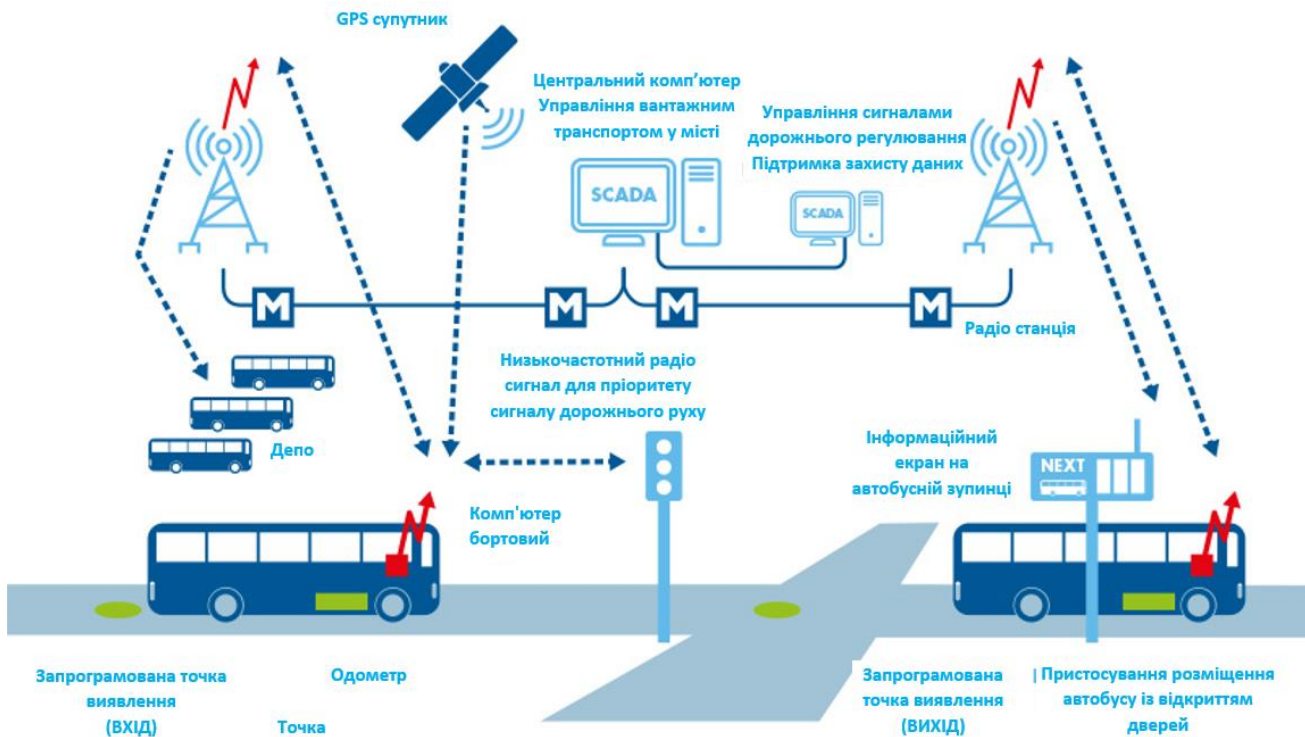


Рисунок 1.8 – Телематика громадського транспорту (Satel, 2020)
<https://www.satel.com/references/traffic-system-public-transport-helsinki/>

Інформація про пасажирів основана на системі автоматичного розташування транспортного засобу (Automatic Vehicle Location, AVL) за допомогою GPS-супутникової навігації та одометра транспортного засобу. Тришагова процедура визначає місцезнаходження. Усі транспортні засоби зчитуються центральним комп'ютером кожні десять секунд. Постійні дані про точне положення кожного транспортного засобу на маршруті оновлюються в базі даних у режимі реального часу. Це дозволяє відображати транспортні засоби, що прибувають, на інформаційні екрани на зупинках.

Інформаційні екрани надають інформацію в реальному часі про наступний транспортний засіб, що наближається до зупинки: номер маршруту, пункт призначення та час очікування в хвилинали. Число на екрані відлічує залишки хвилин, поки не досягне нуля. Потім він починає блимати, що полегшує помітити, коли прибуває транспортний засіб. Екрани також можуть використовуватися для доставки повідомлень про перебої в обслуговуванні з центру управління транспортними засобами.

Екран інформації знаходиться за пару метрів від зупинки в напрямку транспортних засобів, що прибувають. Міцні металеві корпуси, полікарбонатні фасади та анти-графіті покриття захищають екрани від вандалізму.

Перші пасажери та туристи можуть легко пройти маршрут і підготуватися до виїзду на потрібній зупинці, коли на інформаційному екрані вони побачать назву наступної зупинки, номер маршруту та пункт призначення. Екран – рідкокристалічний дисплей – має жовтий текст на темному тлі. Він встановлений за сидінням водія, так що це добре видно з більшості сидінь.

Алгоритм позиціонування заснований на інформації з GPS-навігації, відкриття дверей на зупинках та імпульсів одометра. Усі події маршруту заздалегідь запрограмовані на борту комп'ютера. Водій повідомляє системі свій службовий номер на початку зміни і система автоматично керує інформацією про наступну зупинку, запитує пріоритет на світлофорі та надсилає контрольне повідомлення на центральний комп'ютер.

Передача даних між транспортними засобами, контролерами дорожнього сигналу, екранами інформації про зупинку та центральним комп'ютером базується на радіосповіщеннях. Шість різних радіочастот обробляють усі комунікації в системі. Три базові станції з різною частотою обробляють усі зчитування транспортних засобів. Четверта базова станція контролює інформаційні екрани на зупинках. П'ята частота зарезервована для підтримки даних, і вона використовується для зміни та оновлення системних параметрів протягом ночі в автобусних і трамвайних депо. Запити пріоритету світлофора надсилаються на шостій частоті безпосередньо від транспортного засобу до шафи контролера сигналу в кожному вузлі. Запити надсилаються з низькою потужністю, щоб мінімізувати затримку.

Вся передача даних базується на відкритих протоколах і будь-який автобус, що надсилає правильне повідомлення на потрібній частоті, може отримати пріоритет світлофора від контролера сигналу.

У роботі [6] проф. Нуццоло зазначає, що у багатьох світових дослідженнях відзначається, що інформація, заснована на стані мережі в режимі реального часу, може бути ефективним інструментом для підвищення якості та ефективності транспортних послуг і тим самим заохочувати людей використовувати громадський транспорт. Системи, що надають таку інформацію, називаються інформаційними системами для пасажирів у режимі реального часу (*real-time traveller information systems*). Ці системи, які можна згрупувати за допомогою інтелектуальних транспортних систем, мають змогу отримати доступ, організувати, узагальнити, обробити та відобразити інформацію, щоб допомогти подорожуючим спланувати свої поїздки.

Інформаційні системи для пасажирів у режимі реального часу можуть надати інформацію перед відправленням поїздки (перед поїздкою), а також під час поїздки (за маршрутом). Інформаційні системи перед поїздкою – це засіб усунення невизначеності щодо графіків і маршрутів руху, які часто є причинами для пасажирів не користуватися громадським транспортом. Надаючи точну та своєчасну інформацію, такі інструменти дозволяють приймати більш обґрунтовані рішення щодо маршрутів та часу відправлення.

Інформаційні системи на маршруті пропонують пасажиром різноманітну інформацію з метою оновлення попередніх варіантів, враховуючи поточний стан мережі. Нижче подано можливу класифікацію цих систем, що базується, головним чином, на функціональних аспектах з точки зору пасажирів. Початкові критерії класифікації стосуються наступної інформації:

- ✓ інформація про розклад, наприклад, «час прибуття заплановано на Y.YY».
- ✓ описова інформація кількісного типу, наприклад, «поточна затримка автобусу за розкладом становить X хвилин»;
- ✓ прогнозована інформація, яка передбачає прогнози показників поїздки, наприклад, «автобус прибуде до зупинки за X хвилин».

Крім того, інформаційні системи можуть надавати спільну (або колективну) інформацію, тобто інформацію, що надається групі користувачів (наприклад, час прибуття маршрутного транспорту на зупинки) або індивідуальної інформації, тобто конкретної інформації для пасажирів (наприклад, інформація для конкретної пари прибуття-відправлення). Індивідуальні системи в режимі реального часу можуть охоплювати один вид транспорту (наприклад, автобус) або кілька видів транспорту для мультимодального пересування (наприклад, автомобіль, автобус, метро, залізниця, включаючи різні транспортні послуги, що надаються різними компаніями).

Такі системи не лише зобов'язані надавати інформацію про стан мережі (наприклад, час очікування на кожній зупинці, час руху), але, враховуючи відправлення, призначення та необхідний час (тобто бажаний час відправлення чи прибуття), вони також можуть запропонувати найкращий варіант пересування або набір найкращих варіантів. У деяких системах пропоновані варіанти також упорядковуються за деякими критеріями (наприклад, час у дорозі, кількість пересадок).

Індивідуальні інформаційні системи, які надають варіанти пересувань до пунктів призначення, можна поділити на наступні:

- планувальник поїздок (trip planners);
- особистий консультант пасажирів (personal traveller advisors);
- керівництво з вибору маршруту (route guidance).

Планувальник поїздок, які також називаються планувальниками маршрутів, та особисті консультанти пасажирів – це програми телематики для надання набору альтернативних шляхів пересування, сформованих відповідно до набору критеріїв (наприклад, мінімальний час у дорозі, мінімальна відстань пішки та ін.). *Особисті консультанти пасажирів* відрізняються від планувальників поїздок головним чином тим, що вони дозволяють взаємодіяти з пасажиром з метою надання індивідуальних консультації щодо пересувань. Особистий консультант пасажирів використовує механізми навчального процесу для надання інформації відповідно до особистих звичок подорожей, рис. 1.9–1.10.



Рисунок 1.9 – Особисті консультанти пасажирів

Керівництво з вибору маршруту – це інструмент, який допомагає пасажирам слідувати певним шляхом із детальними інструкціями. Пропозиції щодо планування маршрутів можна поділити на:

- ✓ поради щодо декількох шляхів переміщення, тобто пропонуються деякі альтернативні шляхи, згідно з деякими правилами генерації, і пасажир обирає серед них;
- ✓ рекомендуються нормативні рекомендації, наприклад, шлях, який повинен бути оптимальним варіантом для пасажирів відповідно до нормативного підходу.



Рисунок 1.10 – Керівництва з вибору маршруту

На сьогоднішній день розроблено кілька планувальників поїздок (GoogleTransit, Moovit, Citymapper), рис. 1.11.

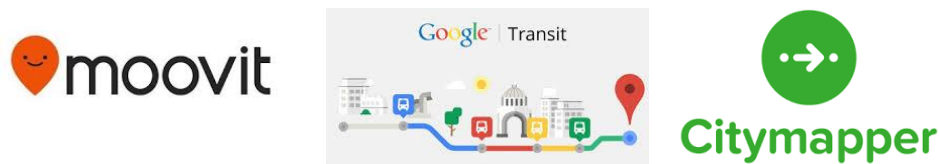


Рисунок 1.11 – Популярні планувальники поїздок

Однак, навіть якщо ефективність таких інструментів не викликає сумнівів, вони мають недоліки:

- ✓ вони не відповідають новим вимогам, що впливають із ще складніших багатомодальних транзитних мереж;
- ✓ вони не застосовують новітні розробки в галузі комунікаційних технологій та потенціалу інформатики (обробка великих даних) та можливостей з відкритим кодом;
- ✓ вони не відповідають поточним потребам у дослідженні моделювання процесу перевезення, наприклад, стосовно моделювання попиту, особливо щодо прийняття рішень щодо вибору шляху пересування, моделювання призначення та зворотного призначення.

Мультимодальні пасажирські мережі, які є цільовими схемами новорозвиненого громадського транспорту в усьому світі, включають не лише декілька послуг громадського транспорту (автобус, трамвай, метро, регіональна залізниця), а й деякі інші альтернативні види транспорту, таких як власний автомобіль, спільне використання автомобілів, спільне використання велосипедів, велосипед та послуги на замовлення. Тому планування поїздки в таких мережах стає все складнішим, особливо враховуючи бронювання та придбання квитків.

Останні розробки ІТС та впровадження загальноміських платформ для перевезення пасажирів дозволяють подолати ряд основних традиційних обмежень

моделювання систем перевезення пасажирів. Такі обмеження стосуються збору даних, який зазвичай є дорогим, не завжди точним, все більш складним (право на приватне життя) і часто являє собою лише певні аспекти мобільності конкретних (обмежених) періодів часу. Завдяки збору та обробці «великих даних» (big data) зі системи перевезення пасажирів велика кількість даних може бути отримана за низькою ціною. Професор Римського університету Тор Вергата Агустіно Нуццоло стверджує, що ці дані можуть бути використані для вдосконалення впровадження моделей пасажирських перевезень, які, наприклад, дозволяють прогнозувати ступінь завантаженості транспортних засобів у реальному часі. Крім того, збільшується ефективність розрахунку матриці кореспонденцій, або параметрів моделі; наприклад, за допомогою методів зворотного присвоєння. Двонаправлений зв'язок між пасажиром та інформаційними центрами генерує дані, які можуть використовуватися не лише для оцінки матриць місця призначення та параметрів моделі в режимі реального часу, а й для надання пасажиром консультацій з урахуванням особистих переваг.

Виходячи з цих нових можливостей та вимог, розробляється нове покоління індивідуальних прогнозованих планувальників поїздок (більшість з них на етапі прототипу чи концепції).

Деякі нові планувальники поїздок генерують шляхи за допомогою оцінки «зручності» (корисності), яку пасажир призначає для кожного варіанту пересування, розглядаючи компенсаційні та некомпенсаційні зв'язки між характеристиками або ознаками запропонованих альтернатив. У цих випадках функція краще, якщо вона підібрана відповідно до особистих переваг пасажиром. Використовуючи нові технології, також можна постійно вдосконалювати цю індивідуальну функцію корисності пасажирів щодо виявлених варіантів, які пасажир обирає серед існуючих інструментів (динамічне вивчення переваг пасажиром). Крім того, у багатьох випадках пасажир рухається по стохастичній (ненадійній) мережі, тобто продуктивність мережі є випадковими змінними, прогнозованими з невизначеністю. Тому пропозиції щодо шляхів не можуть бути надані лише на основі прогнозів атрибутів шляху, але й з урахуванням розподілу імовірностей цих атрибутів, як зазначено в теорії прийняття рішення. Крім того, для пар початкового призначення, які з'єднані за допомогою графіків з вузлами переадресації (де рішення про шлях проводяться відповідно до випадків випадкових подій), варто запропонувати пропозиції відповідно до оптимальної стратегії пересування, а не одинарних шляхів.

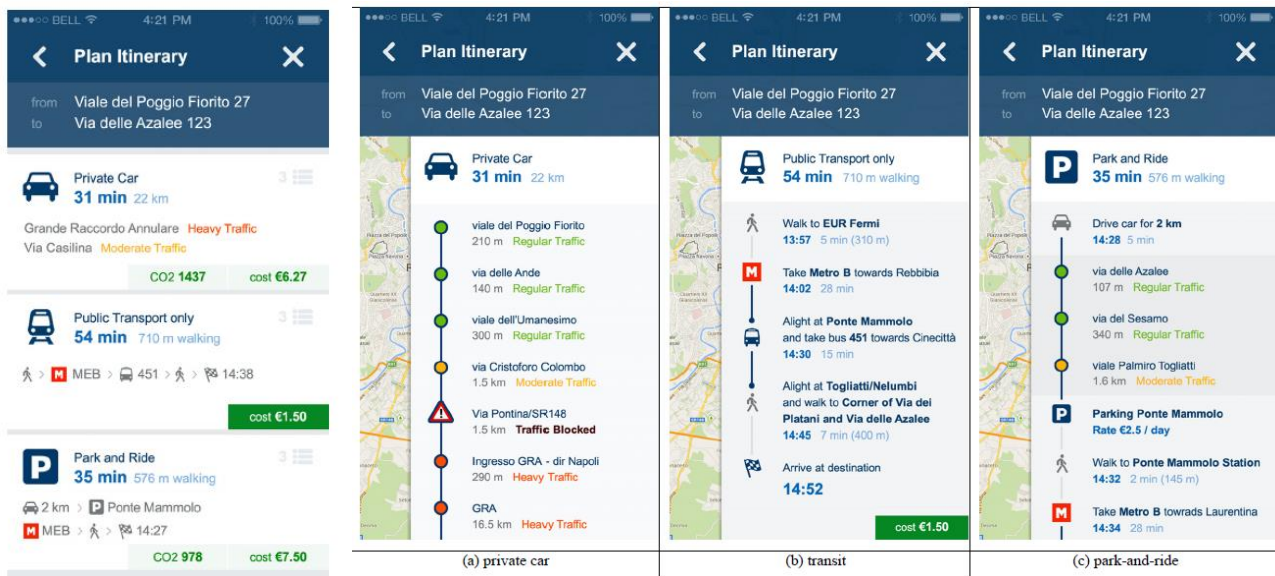
Деякі опитування виявили великий інтерес серед перевезення пасажирів у отриманні додаткової інформації, наприклад, зайнятості транспортних засобів. Ця інформація може не вимагати додаткових інвестицій у технології для транспортного підприємства, але може вплинути на вибір пасажиром перед поїздкою та впродовж поїздки, особливо в перевантажених мережах.

Переваги і недоліки планувальника поїздок

Перші планові поїздки були розроблені транспортними підприємствами, які є власниками даних про заплановані послуги перевезень та даних у режимі реального часу про стан мережі. Наявність даних про систему перевезення пасажирів дозволило стороннім підприємствам розробити програми для надання інформації, включаючи планувальників поїздок. Серед цих інструментів найбільш популярними є: Moovit (2009), Google Transit (2005) та Citymapper (2014). Ці планувальники маршрутів пропонують свої послуги по всьому світу, у зв'язку з цим, базується на спрощеному підході до моделювання. Тому більшість сучасних особистих консультантів пасажирів використовують метод, заснований на правилах, для створення рекомендованих шляхів. Це включає вибірковий підхід, при якому набір фільтрів, здатних зменшити набір вибору всіх можливих шляхів, застосовується для видалення нереальних шляхів (наприклад, таких, що перевищують максимальний час ходьби або відстань, кількість пересадок, максимальний час на пересадки), а також видалити ті шляхи, які не використовують обраний вид транспорту (наприклад, залізниця, метро, трамвай, автобус).

Нещодавно з'явилося нове покоління планувальників поїздок, яке використовує інший підхід, який можна класифікувати як «зважений час». Після генерування набору шляхів за допомогою правил, подібних до представлених вище, найкращі шляхи визначаються за допомогою мінімізації функції зважених компонентів часу поїздки (таких як доступ, очікування, пересадка). Правила та вага можуть визначати постачальника інформації та/або пасажира.

Розглянемо два приклади цих інструментів – Lazio-Mobility (2015) та Muovi-Roma (2015). Перший, побудований у співпраці з Римським університетом Тор Вергата та використовується в регіоні Лаціо, базується на спеціалізованій версії платформи з відкритим кодом OpenTripPlanner, рис. 1.12.



a)

b)

Рисунок 1.12 – Особистий консультант пасажирів Tor Vergata:

a) приклад мультимодального інформатора маршруту та реєстратора вибору користувача; б) приклад інформації щодо маршруту

Останній, побудований Агенцією з мобільності м. Рим (Roma Servizi per la Mobilità), використовує власну систему. Обидва вони дозволяють генерувати шляхи за допомогою оцінки «зручності», яку пасажир призначає кожному варіанту поїздки. Різні варіанти розраховуються з урахуванням загальних правил [7].

Зараз Lazio-Mobility і Muovi-Roma використовують утиліту для поїздок, яка враховує лише час поїздки та різні його складові, такі як час очікування на зупинках, час руху, час пішки та час на пересадку. Кожен компонент належним чином зважується відповідно до його важливості у процесі вирішення вибору поїздки користувачем. З цієї причини підхід, використовуваний цими інструментами, називається «зваженим часом». Важливо, що ці два інструменти пропонують шляхи, що враховують інформацію в режимі реального часу про час очікування на зупинках та про час руху пасажирських транспортних засобів.

Враховуючи можливість, запропоновану розвитком телематики, збирати індивідуальні дані, функцію корисності можна було вдосконалити, включивши інші типи параметрів та оцінювати вагу кожного параметру. Розглянемо переваги і недоліки трьох підходів, табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Переваги і недоліки підходів до генерації шляху пересування

у планувальників поїздок [5]

Тип підходу	Переваги	Недоліки
На основі правил	Правила можуть бути визначені користувачем; Швидка реалізація	Компенсаторні ефекти не враховуються.
Зважений час	Компенсаторні ефекти враховуються (лише серед компонентів часу поїздки); Вагові компоненти часу можуть визначати користувачі.	Визначення ваги; Мало параметрів вибору шляху.
На основі функції корисності	Розглядаються компенсаторні ефекти; Розглядаються різні види атрибутів шляху (пов'язані лише з часом подорожі); Розглядаються лише модальні переваги; Індивідуальні параметри атрибутів шляху можуть бути використані.	Складність специфікації корисності; Складність в оцінці окремих параметрів.

Нове покоління планувальників поїздок використовує метод ідентифікації запропонованих шляхів, оскільки він використовує «вартість» з функцією корисності атрибутів шляху, пов'язаних з кожною альтернативою. Розглядаються різні типи атрибутів, пов'язаних не лише з часом поїздки, такі як вподобання деяких видів транспорту (наприклад, метро), нерегулярність послуг та затримка розкладу. Параметри функції корисності, що підлягають оцінці, можуть бути середніми параметрами, застосованими до однорідних груп пасажирів, або індивідуальними параметрами, налаштованими на основі переваг пасажирів.

1.3. Системи управління вантажним транспортом

1.3. Freight management systems

Основні характеристики системи управління вантажним транспортом

Система управління вантажним транспортом (Fleet Management System) збирає, зберігає і надає повну інформацію про поточний стан транспортних засобів та вантажів, історії маршрутів, очікувані події, а також дії водія для компаній з технічного обслуговування транспортних засобів і операторів, рис. 1.13.

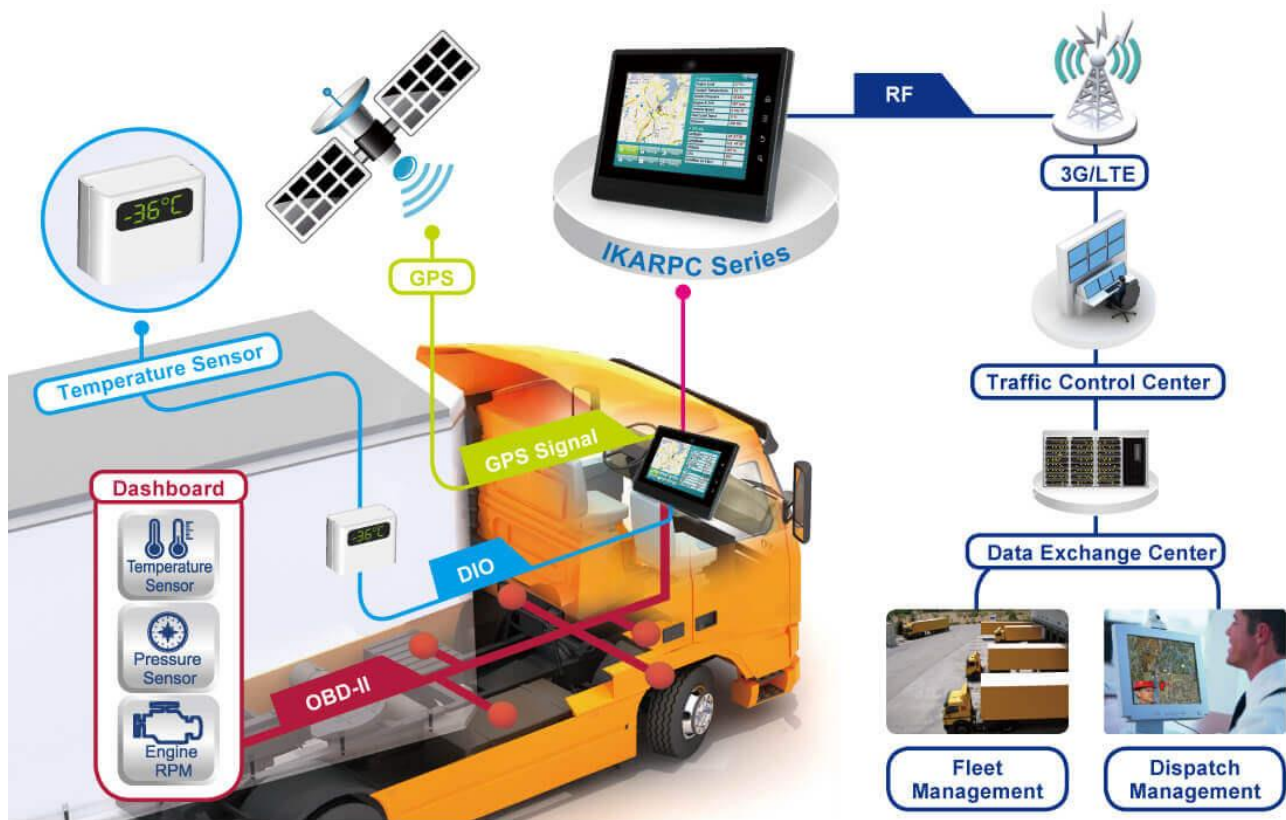


Рисунок 1.13 – Система управління вантажним транспортом
(Джерело: <https://www.ieiworld.com>)

Основними сферами застосування є: експлуатація транспортних засобів, безпека руху, збереженість вантажу, управління дорожнім рухом, охорона навколишнього середовища [7].

У 2000-х роках системи управління вантажним транспортом (далі – СУВТ) швидко поширилися. Переваги цього підходу полягають в наступному: підвищення безпеки під час доставки, постійне відстежування механічного стану транспортних засобів, скорочення експлуатаційних витрат (витрата палива і витрати на технічне обслуговування), запобігання незаконному використанню транспортного засобу і маніпулювання паливом, спрощення документації (наприклад, журнал поїздок), система мотивації водіїв (аналіз стилю водіння), розвиток безпеки дорожнього руху (виявлення перевищення швидкості і аварій), розвиток безпеки вантажних перевезень, підвищення рівня охорони навколишнього середовища, рис 1.14.

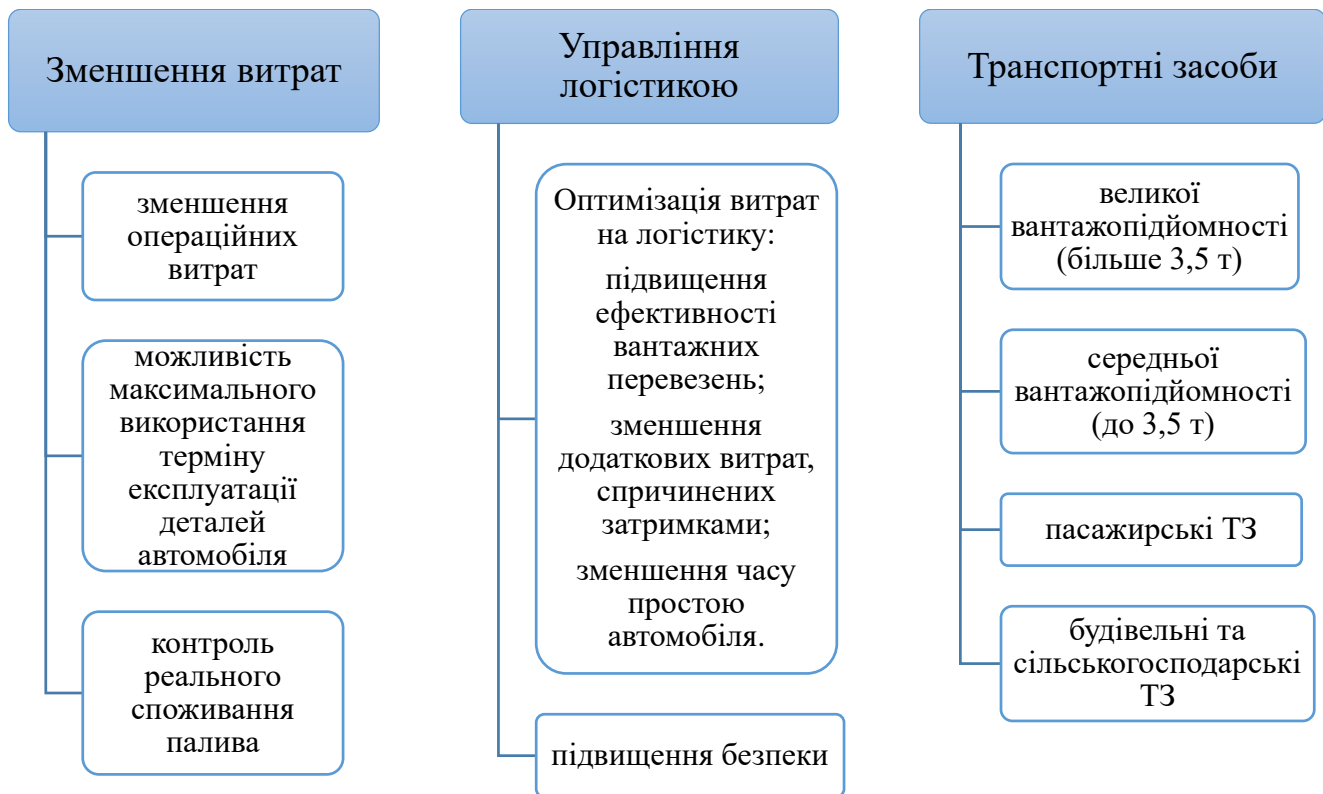


Рисунок 1.14 – Головні мотиваційні чинники для застосування системи управління вантажним транспортом (СУВТ)

Головні мотиваційні чинники для застосування СУВТ розглянемо докладніше.

Зменшення витрат. Основною причиною установки системи управління вантажним транспортом є очікуване зниження загальних експлуатаційних витрат компанії. Хоча створення такої системи вимагає одноразових витрат на інвестиції і її функціонування також призводить до витрат, але ці витрати компенсуються економією. Зниження витрат, обумовлене більш ефективною експлуатацією, зазвичай відбувається наступним чином:

- зниження експлуатаційних витрат завдяки підвищенню ефективності використання транспортних засобів і оптимальному плануванню маршрутів;
- забезпечує можливість максимального використання терміну служби деталей транспортного засобу за рахунок комплексного моніторингу транспортного засобу, попередження про необхідність заміни і підтримка логістичних рішень;
- поліпшення оцінювання норми витрат палива шляхом вимірювання реальних витрат.

Управління логістикою. Можливість відстеження транспортного засобу в режимі онлайн є ідеальним інструментом для оптимізації логістичних процесів.

Можна визначити не лише маршрут вантажу, а й оптимізувати рух транспортного засобу. Зниження витрат на логістику може бути досягнене за рахунок:

- підвищення ефективності вантажних перевезень;
- зменшення додаткових витрат, спричинених затримками;
- значне скорочення часу простою транспортного засобу, що призводить до

зниження витрат і збереження транспортних характеристик.

➤ моніторинг допомагає контролювати незаконне використання транспортного засобу.

Ще одна вимога – забезпечити безпеку вантажу за допомогою системи управління парком транспортних засобів. Отримані дані дозволяють відстежувати або відслідковувати рух транспортного засобу. За допомогою онлайн системи можна втручатися у критичні ситуації та стежити за дотриманням правил дорожнього руху.

Категорії транспортних засобів. Спочатку системи управління вантажним транспортом (СУВТ) були запроваджені міжнародними транспортними компаніями з комерційними транспортними засобами (великої вантажопідйомності). Ці ранні системи збирали лише GPS-позиції та надсилали SMS по центральному серверу. Зі скороченням витрат рішення СУВТ перейшли на сегмент менших комерційних транспортних засобів (середньої та малої вантажопідйомності). На сьогоднішній день СУВТ використовується майже у всіх сегментах транспортних засобів, зокрема пасажирські перевезення, будівництво та сільськогосподарська діяльність.

Розглянемо функції, задачі та технологію роботи СУВТ.

Функції системи. За останнє десятиліття системи управління автопарком пережили величезний розвиток. Сьогодні ці системи використовують кілька джерел датчиків, онлайн комутацію пакетних даних, двосторонній зв'язок, зворотній зв'язок, бортові шини зв'язку автомобіля, покращену ідентифікацію MMI та драйверів, дані цифрового тахографа тощо.

Збір даних. Збір даних та обробка даних є основою СУВТ. Передусім бортова система повинна реєструвати існуючі сигнали транспортного засобу, все ж у кількох випадках система потребує нових або більш детальних параметрів. Існує кілька можливостей для вимірювання фізичних параметрів та отримання ідентифікаційних даних (водій, причіп тощо). В даний час всі комерційні транспортні засоби мають безліч CAN-інтерфейсів, що надають різні сигнали.

Обробка даних. Обробка даних включає вибірку різних джерел датчиків як динамічних, так і з фіксованим часом. Стратегія вибірки визначає загальний обсяг

даних, що підлягає обробці, що може вимагати тимчасового зберігання та попередньої обробки (наприклад, створення гістограми) для зниження витрат на комунікацію.

Передача даних. Існує дві категорії систем управління автопарком, залежно від місця розташування даних. Якщо в транспортному засобі є блок запису, а записані дані згодом обробляються та оцінюються, це називається *автономною (off-line) СУВТ*. Коли всі транспортні засоби підключені онлайн до комп'ютерного сервера через мобільний Інтернет, і доступна інформація в режимі реального часу та оцінка даних, називається *онлайн (on-line) СУВТ*. В останні роки онлайн системи ввійшли в загальне використання в результаті еволюції технологій бездротового зв'язку. Кілька можливостей комунікації стали доступними для СУВТ. Зазвичай використовувані методи базуються на мережах GSM в основному на послугах з комутацією пакетів (наприклад, GPRS).

Завдання на виявлення. Ідентифікація транспортного засобу є найважливішим завданням систем управління (рис. 1.15).

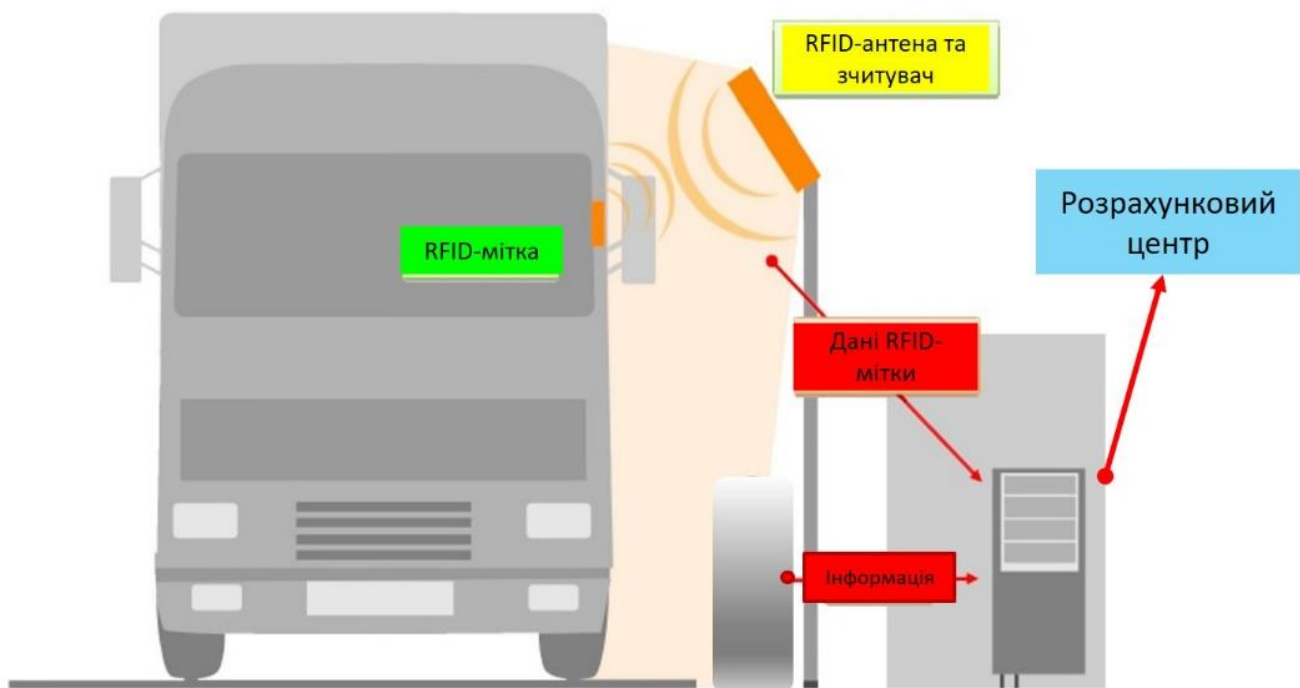


Рисунок 1.15 – Система RFID обліку (Джерело: ДП «ДерждорНДІ»)

<http://dorndi.org.ua/ua/bezkontaktna-identifikaciya-transportu>

Цю функцію можна досягти кількома способами. Загальним рішенням є використання «природного» ідентифікатора блоку GSM під назвою IMEI номер, який можна підключити до номерного знаку транспортного засобу або

ідентифікаційний номер транспортного засобу (vehicle identity number, VIN) у базі даних центрального сервера.

Ідентифікація підвищує безпеку системи, підключаючи дані транспортного засобу до водія. Ідентифікація водія дуже важлива з декількох аспектів: реєстрація робочого часу, питання відповідальності у випадку спеціальних подій тощо. На сьогоднішній день на ринку можна отримати багато різних рішень, такі як картки близькості RFID (Radio Frequency Identification), ключі Далласа, але останнім часом цифрові тахографи відкривають нові можливості в цій галузі, рис. 1.16.



Рисунок 1.16 – RFID картки для безконтактної ідентифікації транспортних засобів

Іншим надзвичайно важливим завданням є ідентифікація причепа, необхідна для відстеження вантажу. Це можна здійснити за допомогою спірального кабелю між тягачем та причепом або за допомогою бездротової системи ідентифікації. Сповіщення попередження, спричинені подіями, дають змогу системі вказувати ненормальні дії для водія та для системного центру. Ці функції зазвичай відстежують задані сигнали. Якщо ці сигнали досягнуть несподіваного або небезпечного значення, відбудеться подія. Наприклад, ці події можуть бути раптовим зниженням рівня палива, перевищенням швидкості, тиском в шинах тощо. Специфічною характеристикою сповіщень є те, що вони є в режимі реального часу для швидкого втручання (рис. 1.17).

Позиціонування. Визначення місця розташування транспортного засобу зазвичай виконується системами Global Navigation Satellite System (GNSS). Принципи роботи супутникових навігаційних систем (так звані GPS) були розроблені в Сполучених Штатах для військових навігаційних цілей. GPS – це широко розповсюджене та доступне рішення для позиціонування, яке здатне визначати тривимірне положення, хронометрію та швидкість. Система використовує супутникові сигнали для визначення положення, таким чином, вона забезпечує можливість постійного вимірювання протягом 24 годин у всьому світі. СУВТ зазвичай використовують GPS-приймачі або комбіновані GPS / GLONASS-приймачі.



Рисунок 1.17 – Впровадження технології безконтактної ідентифікації транспортних засобів

Центральна система. Центральна система СУВТ – це складна апаратна та програмна система, яка обробляє завдання збору, зберігання та оцінки даних. Вхідні дані з транспортних засобів повинні оброблятися безпечно та надійно, щоб уникнути втрати даних та несанкціонованого доступу. Центральна система формує звіти, схеми, попередження та обробляє географічні завдання.

Система користувача. Оскільки система користувача є інтерфейсом для персоналу, що керує системою, вона забезпечує такі функціональні можливості: насамперед оператор системи повинен збирати дані про транспортні засоби, маршрути та водіїв за допомогою налаштованих звітів. Окрім завдань онлайн управління автопарком, він повинен володіти географічними алгоритмами та візуалізацією. Оскільки безпека даних є надзвичайно важливою у таких системах, автентифікацією та авторизацією у всій системі, включаючи центральну систему, а також систему користувача, слід керувати та ретельно розробляти.

Архітектура систем управління автопарком. Загальна конструкція систем управління парком в режимі реального часу показана на рис. 1.18. Зазвичай вона складається з трьох основних підсистем: вбудованих блоків, центрального сервера, призначених для користувача, комп'ютерів.

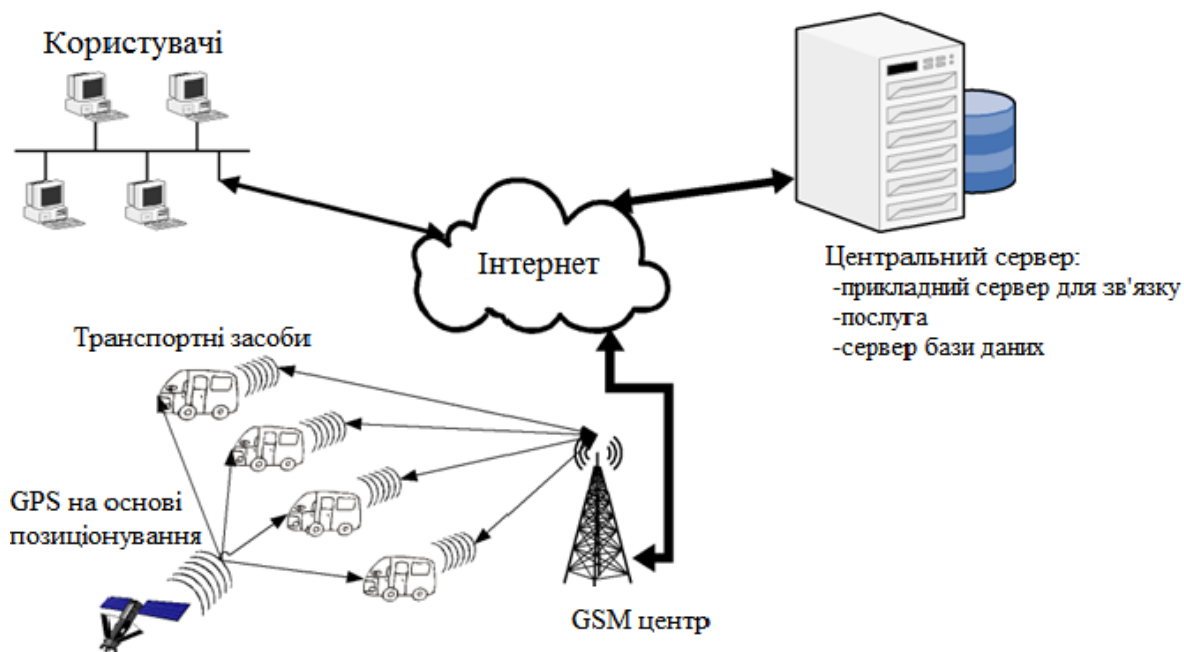


Рисунок 1.18 – Структура СУВТ

Бортові блоки замінюють робочі параметри автомобілів (стан перемикачів, потрібну енергію, параметри двигуна і т.д.) і його положення (з підтримкою GPS-позиціонування), а також надійно підтримують дані, отримані водієм (назва цих дій і т. д.). Ці параметри передаються на центральний сервер під час актуалізації більш ранніх визначених днів (сигнал тривоги, зовнішнє зниження рівня палива і т. д.) і в заданому періоді часу.

Вбудовані блоки обмінюються даними з центральним сервером через мобільні системи. Дані оцінюються і зберігаються в актуальній базі даних. При необхідності центральний сервер може надсилати сигнал тривоги на вказаний адрес електронної пошти або навіть на мобільний телефон. При цьому можна підтвердити наявні пакети даних, надіслати водію текстове повідомлення та задати параметри бортового блоку.

Транспортні засоби можна виявити і спостерігати майже постійно (в режимі он-лайн), а робочі параметри (експлуатаційні характеристики транспортних засобів, споживання енергії, активність та час роботи водіїв, ефективність доставки) можуть супроводжуватися подальшою оцінкою даних, що зберігаються в центрі (в автономному режимі).

Для управління СУВТ використовують дві основні системи.

Автоматичне визначення місця розташування автомобіля (Automatic Vehicle Location, AVL). Його завдання полягає у відстеженні географічного положення

транспортних засобів і надання важливої інформації операторам, які можуть перевіряти відхилення, затримки, аварії або затори, вкрадені або зламані транспортні засоби тощо в мережі.

Автоматичний контроль автомобіля (Automatic Vehicle Monitoring, AVM): вони можуть контролювати стан транспортних засобів (рівень масла і палива, температуру масла, закриті або відкриті двері, швидкість). У ньому також розглядаються ключові показники ефективності (KPI) і можливість проведення статистичних розрахунків. Також можуть використовуватися інші ІКТ транспортними операторами: маршрутизація і планування; комп'ютеризація адміністративних процедур (замовлення, постачання, рахунки); слідкування та відстеження (штрих-код або RFID).

Системи слідкування та відстеження

Слідкування та відстеження (track & trace) стосується процесу визначення поточного та минулого розташувань унікального предмета чи властивості:

➤ може бути підтриманий за допомогою підрахунку та звітності про стан транспортних засобів та контейнерів, що зберігаються, наприклад, у базі даних в реальному часі;

➤ повідомляти про прибуття або від'їзд об'єкта та записувати ідентифікацію об'єкта, місце, де його спостерігають, час та стан; перевірити звіти щодо послідовності та повноти (Deutsche Post, United Parcel Service, AirRoad, FedEx, Нова пошта, Укрпошта), рис. 1.19.

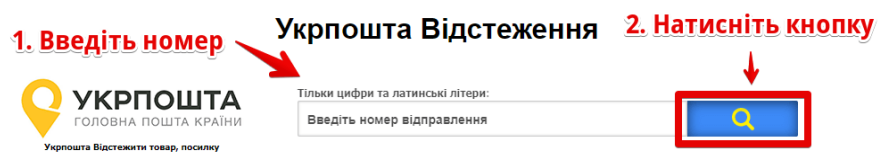


Рисунок 1.19 – Пошукова система відстеження АТ «Укрпошта»

Слідкування означає слідувати назад від його поточної точки до місця, де він почався. Відстежувати це означає слідувати за новим шляхом вперед від початкової точки до місця, де зараз знаходиться річ, рис. 1.20.

Слідкування: Де знаходився?	Відстеження: Де знаходиться зараз?	Контроль: Куди буде направлятися?
---------------------------------------	--	---

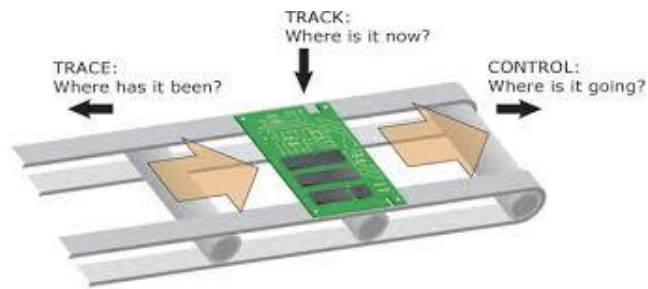


Рисунок 1.20 – Слідкування та відстеження

Розглянемо технологію роботи системи Quadro, рис. 1.21.



Рисунок 1.21 – Можливості програми з управління замовленнями Quadro (Ecol)

Особливості системи відстеження та моніторингу вантажу Quadro:

- відстеження руху транспортного засобу та позначення його місцезнаходження на карті;
- інформація імовірного часу прибуття та відстані перевезення;
- відображення на карті агентств, клієнтів та постачальників;
- доступ до замовлень та звітів у хронологічному порядку, а також можливість формувати звіти по окремому клієнту і/чи постачальнику.

За запитом система надсилає e-mail повідомлення щодо поточного статусу товарів, що перевозяться, інформацію про відправлення/прибуття вантажу бізнес-партнерам клієнтів, а також іншим контрагентам (наприклад, представникам компаній).

Інформаційні системи Dynafleet і Fleetboard, якими обладнані транспортні засоби, забезпечують ефективну комунікацію та швидкий обмін актуальною інформацією. Це сприяє прийняттю правильних рішень сторонами транспортного процесу. Веб-сервіси дають змогу легко відстежувати машини в режимі online. Внаслідок чого клієнти можуть відстежувати свій вантаж в режимі реального часу і перевіряти його географічне положення на карті. Система надає наступну інформацію щодо всіх машин транспортного парку: формат керування авто, відстань, споживання палива, наступна запланована послуга та екологічний звіт. Крім того інформація стосовно транспорту та водія завантажується безпосередньо через GSM-систему.

Системи контролю доступу

Електронні платіжні системи сплати коштів за перевезення включають додатки Електронного збору оплати (Electronic toll collection), додатки оплати проїзду та додатки для паркування автомобілів. Розглянемо кожен із перелічених додатків [9].

Електронний збір оплати (далі – ЕЗО), за даними Посібника з рівномірних пристроїв контролю руху (MUTCD 2), визначається як система автоматизованого збору плати за проїзд з транспортних засобів, що рухаються або зупиняються за допомогою бездротових технологій, таких як радіочастотна комунікація або оптичне сканування, рис. 1.22.



Рисунок 1.22 – Електронний збір оплати на платній ділянці дороги
(Джерело: IPC2U)

Системи ЕЗО класифікуються наступним чином:

➤ системи, що вимагають від користувачів наявності зареєстрованих облікових записів платних послуг, з використанням устаткування усередині або ззовні транспортних засобів, наприклад, транспондера або таблички з штрих-кодом, які обмінюються даними або виявляються придорожною або підвісною системою прийому, або за допомогою оптичного сканування номерних знаків для автоматичного зчитування номеру телефону із зареєстрованого облікового запису користувача;

➤ системи, що не вимагають від користувачів наявності зареєстрованих облікових записів, оскільки номерні знаки транспортного засобу скануються оптично, а рахунки за сплату послуг надходять поштою на адресу власника транспортного засобу.

Найпоширеніший метод ЕЗО передбачає використання спеціалізованих технологій зв'язку короткого діапазону (мікрохвильова бездротова) для підтримки безперебійної обробки транзакцій між відповідним обладнанням та придорожнім обладнанням. Коли транспортні засоби проходять через платну зону, транспондер або мітка, встановлена на/або всередині транспортного засобу, зчитується придорожною технікою. Це ідентифікує транспортний засіб і дає змогу стягувати суму оплати з передплаченого рахунку. Транспондер або мітка надсилає унікальний

ідентифікаційний номер придорожньому зчитувачу, який, у свою чергу, передає інформацію на придорожній комп'ютер. Дорожній комп'ютер має дані, які пов'язують кожен ідентифікаційний номер з унікальним номером рахунку.

Ідентифікація транспортного засобу також може бути досягнута за допомогою оптичного сканування та розпізнавання символів номерних знаків транспортного засобу. Дані ідентифікації передаються в систему бек-офісу, яка відраховує відповідну плату за облік і відповідно коригує записи рахунків. Оскільки він підтримує режим безперервної роботи, ЕЗО також відкриває шлях для використання таких методів ціноутворення, як цінова вартість і розрахунок вартості перевантаження.

Електронні квитки. В даний час електронні транзитні квитки включають використання смарт-карти для оплати поїздок на пасажирському транспортному засобі. Смарт-карта може утримувати залишок, доступний на самій карті, або просто може бути використана в якості ключа рахунку для вирахування грошей з центрального рахунку, аналогічного системі оплати за дзвінок (рис. 1.23). Користувач може поповнити карту в офісах пасажирських компаній, роздрібних магазинах, що беруть участь в акції, і в Інтернеті, переказуючи гроші з кредитної картки. Ця програма також називається автоматизованим збором тарифів або електронним платежем тарифів.



Рисунок 1.23 – Електронний квиток (м. Харків)

Електронний збір оплати паркування. Електронна система збору платежів може підтримувати як паркування на вулиці, так і паркування поза межами вулиці. У разі паркування поза вулицею існує ряд технологій точок доступу і платних технологій, які можуть бути використані. Аналогічно, для паркування на вулиці можна використовувати інтелектуальні лічильники і термінали сплати, щоб водії мали змогу оплачувати послуги за допомогою смарт-карти або мобільного

телефону. Так, наприклад, у м. Харків у 2019 р. КП «Харківпарксервіс» започатковано роботу над організацією системи електронної оплати за паркування. Наразі у місті існують нові можливості оплати такі як паркувальний талон, електронний абонемент, реєстрація та продовження паркувального талону, мобільне паркування, privat 24, ParkingChatBot, оплата через SMS.

Регіональні програми для змішаних електронних платіжних систем. Коли всі види транспорту розглядаються однією єдиною платіжною системою, це відоме як регіональна багатомодальна електронна платіжна система. Варто зазначити, що хоча існує одна єдина платіжна система, можуть існувати різні платіжні пристрої. Наприклад, оплата на транспортних засобах може бути здійснена транспондером або міткою, тоді як особисті платежі, такі як квитки на пасажирські системи, можна здійснювати за допомогою смарт-картки. Один і той же рахунок може використовуватися для обох типів платежів, навіть якщо використовуються різні платіжні пристрої. Перевага регіонального мультимодального підходу полягає в тому, що він пропонує більше можливостей для управління після установки системи. Наприклад, можуть бути запропоновані умовні знижки, відповідно до яких користувачам пасажирської системи в один конкретний день може бути запропоноване безкоштовне паркування в центрі міста на інший день, коли вони вирішать взяти свій автомобіль. Ці системи також називаються «універсальними транспортними рахунками».

Директива 2004/52 / ЄС та відповідне рішення 2009/750 / ЄС мають на меті досягти сумісності всіх електронних систем дорожньої плати в Європейському Союзі, щоб уникнути поширення несумісних систем, що може поставити під загрозу як безперебійну роботу внутрішнього ринку та досягнення цілей транспортної політики. Розроблений Посібник із застосування директиви про сумісність електронних систем дорожньої плати у Європейському Союзі [10]. Таким чином, Директива передбачає, що має бути створена Європейська служба електронної сплати платежів (ЄСЕСП), яка охоплює всі дорожні мережі та платні (інфраструктури) структури Союзу, на яких використання доріг виконується зі застосуванням електронної системи оплати за допомогою єдиного бортового обладнання, та визначає дозволені технологічні рішення для здійснення електронних операцій з платними тарифами, а саме мікрохвильове та супутникове позиціонування 5,8 ГГц у поєднанні з мобільним зв'язком. ЄСЕСП дозволить будь-якому користувачеві доріг легко оплачувати збори, що стягуються на будь-якій дорозі або інфраструктурі в ЄС, за допомогою єдиного договору підписки з постачальником ЄСЕСП і одного елемента бортового обладнання.

Тема 2. Кейс «Розумний транспорт і логістика для міст» Theme 2. Case "Smart transport and logistics for cities"

XXI століття призвело до посилення глобальної конкуренції та вимог споживачів, нестабільності на ринках пов'язаної з цим. Бізнес, економічне та політичне середовище дедалі більше зазнають несподіваних потрясінь та викликів. Внаслідок цих невизначеностей сьогодні організації стикаються з низкою труднощів у ланцюгах поставок, які включають, серед інших, постійна зміна попиту, покращення обслуговування, зниження собівартості, покращення технологій доставки та скорочення термінів постачання. Щоб вижити, компаніям потрібно реагувати на постійно зростаючий рівень нестабільності попиту та зосереджувати свої зусилля на досягненні більшої гнучкості при прийнятті рішень. Гнучкість дає можливість швидкого реагування на зміни ринку та потреб клієнтів як носія конкурентної переваги. Тому компаніям потрібно періодичного переглядати свій ланцюг поставок для вирішення питань швидкого реагування на зміну попиту, щоб залишатися на високому конкурентному світовому ринку.

Метою теми є:

- аналіз сучасних і перспективних проблем сіті-логістики;
- аналіз теоретичних та практичних основ міської логістики;
- аналіз методів розрахунку попиту кінцевих споживачів в логістиці;
- аналіз методів вирішення транспортних проблем у місті, інструментів підвищення ефективності міської логістики.

2.1. Моделювання попиту на товари

2.2. Моделювання потоків міських товарів

2.3. Введення в моделювання інтегрованих вантажних перевезень

2.1. Моделювання попиту на товари

2.1. Modelling the demand for goods

Аналіз зацікавлених сторін та роль державного сектора

Логістична система функціонує, постійно змінюючи свої параметри. При цьому кожна комбінація значень даних параметрів логістичної системи характеризується різною ефективністю [11–13].

Показники логістичної системи залежать від параметрів які на них впливають і характеризують систему в цілому. А під параметрами розуміємо дані, які як прямо так і обернено пропорційно впливають на логістичну систему і визначають величину показника [14, 15].

При взаємодії систем "Виробник" – "Споживач" – "Місто" найбільшого ефекту при їх функціонуванні буде досягнуто при урахуванні параметрів кожної із них. Взаємодія попиту і пропозиції не може перебувати відокремлено, без участі середовища тому точніше описати всі процеси, які протікають у схемах постачання вантажу можна за допомогою системи «Виробник» – «Кінцеві споживачі» – «Середовище», у якій логістика займає центральне місце (рис. 2.1).

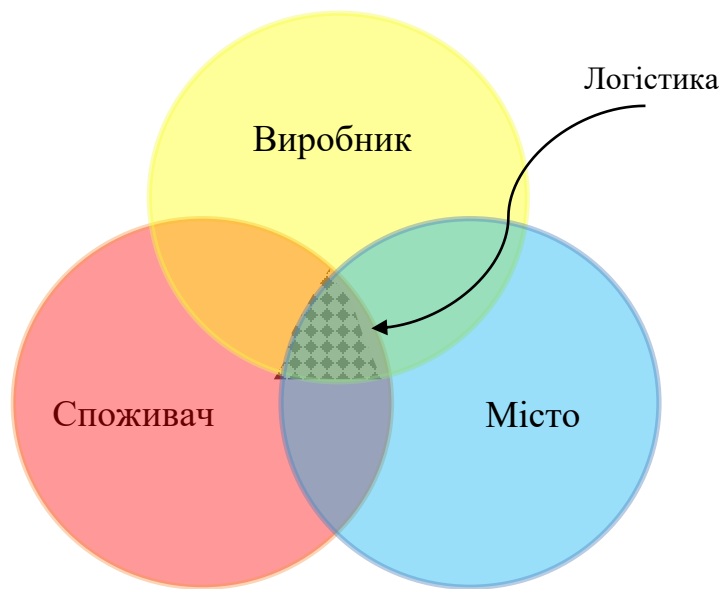


Рисунок 2.1 – Системи "Логістика" – "Споживач" – "Місто"

Аналіз сучасних джерел з логістики дозволяє визнати, що єдиної точки зору в науковому співтоваристві щодо складу та структури сумісних оціночних показників (вимірювачів) ефективності логістичної діяльності на сьогоднішній день не сформовано.

Актуальність розвитку теорії витрат споживання обумовлена низкою факторів [11–19]. По-перше, необхідністю розподілу існуючого грошового доходу домогосподарств між придбанням різних товарів та використанням послуг, які максимізувати б задоволення їх потреб. В даному випадку в основі споживчого поведінки лежать ефект доходу і заміщення, а також закон спадної граничної корисності. По-друге, збільшенням економічної цінності часу. По-третє, як для організації, так і для кінцевих споживачів важливе значення має вирішення

проблем, пов'язаних з вигодами, витратами і ризиками при насиченні ринку більшістю видів продукції. Проводячи дослідження витрат споживання при покупці різних матеріальних потоків в різних логістичних системах, необхідно зіставити споживчі витрат з логістичними, щоб визначити спільну ефективність функціонування систем «споживач» – «логістична система». Проблема полягає в неоднорідності і неоднозначності складу витрат споживання і складності їх приведення до єдиного вимірника, з одного боку. Діаметрально протилежні цілі всіх учасників процесів вироблення, доставки, споживання спонукають на розробки раціональних транспортно-технологічних схем які могли би ефективно використовуватися при просування матеріальних потоків, як для учасників логістичної системи так і до споживачів.

Існують різні методи визначення району обслуговування логістичної системи. У рамках своїх моделей вони розглядають роздрібного торговця, як учасника логістичної системи. Вихідним параметром для якого є обсяг споживання за період часу. У роботах використовую середні величини для опису цього параметру [1–20]. У реальних умовах кожен магазин або роздрібний торговець має власний район обслуговування з індивідуальними параметрами, що залежить від уподобань споживачів, особливостей транспортних комунікацій і географічними характеристиками території. Урахування впливу даних параметрів дозволить скоректувати межі району обслуговування торговельних об'єктів логістичних систем.

Для визначення меж району обслуговування роздрібного торговця запропоновано алгоритм, який складається з чотирьох етапів, зображених на рис. 2.2.

Відповідно до запропонованого алгоритму порядок проведення експерименту проводився наступним чином [19–23]:

1. На першому етапі визначаємо точку (роздрібного торговця), щоб побудови для неї торговельну область проведення експерименту.

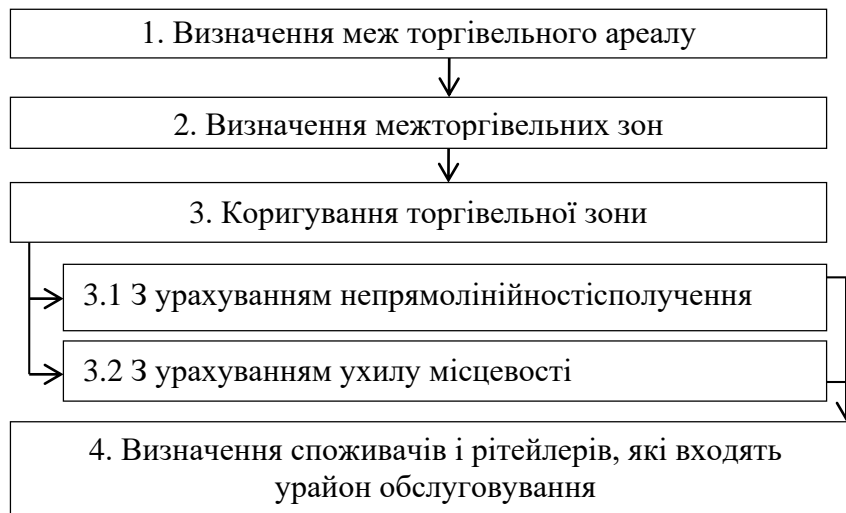


Рисунок 2.2 – Алгоритм визначення меж зони обслуговування роздрібного торговця

2. На другому етапі визначимо торговельну зону. Відповідно до методики виділяємо межі торговельної зони, накресливши радіус для обраної торгової зони «по повітрю». При необхідності можливо розглядати декілька зон одразу. Далі проводимо окружність з даним радіусом, використовуючи для цього інструменти «Google карти» або інших можливих електронних карт. Отримана область є первинним районом обслуговування.

3. Коригування торговельної зони проводимо з урахуванням параметрів міста. Вплив параметрів міста, таких як щільність вулично-дорожньої мережі (яка впливає на коефіцієнт непрямолінійності сполучення), природних ухилів, водних та інших природних перешкод та залізничного полотна потрібно враховувати при проектуванні торгової зони. Урахування цих параметрів вплине на розмір торговельної зони – зменшуючи її початкові межі.

Коефіцієнт непрямолінійності оцінюється відношенням відстані «по дорозі» на відстань «по повітрю»:

$$R^{ij} = \frac{l_{дор}}{l_{нов}}, \quad (2.1)$$

де $l_{дор}$ – відстань між районом i та магазином j «по дорозі», км.;

$l_{нов}$ – відстань між районом i та магазином j точками «по повітрю», км.;

Зміни в висотах і природних ухилах вимірюють коефіцієнтом ухилу (k_y):

$$k_y^{ij} = 1 + \operatorname{tg}(A) = 1 + \frac{a}{b}, \quad (2.2)$$

де a – катети (різниця висот від району i до торгового об'єкта), км.;

b – катет (горизонтальна відстань від району i до торгового об'єкта), км.

4. На наступному етапі відмітимо торгові об'єкти на карті, що увійшли в зону досліджень.

Характеристика району наведена на рис. 2.3.

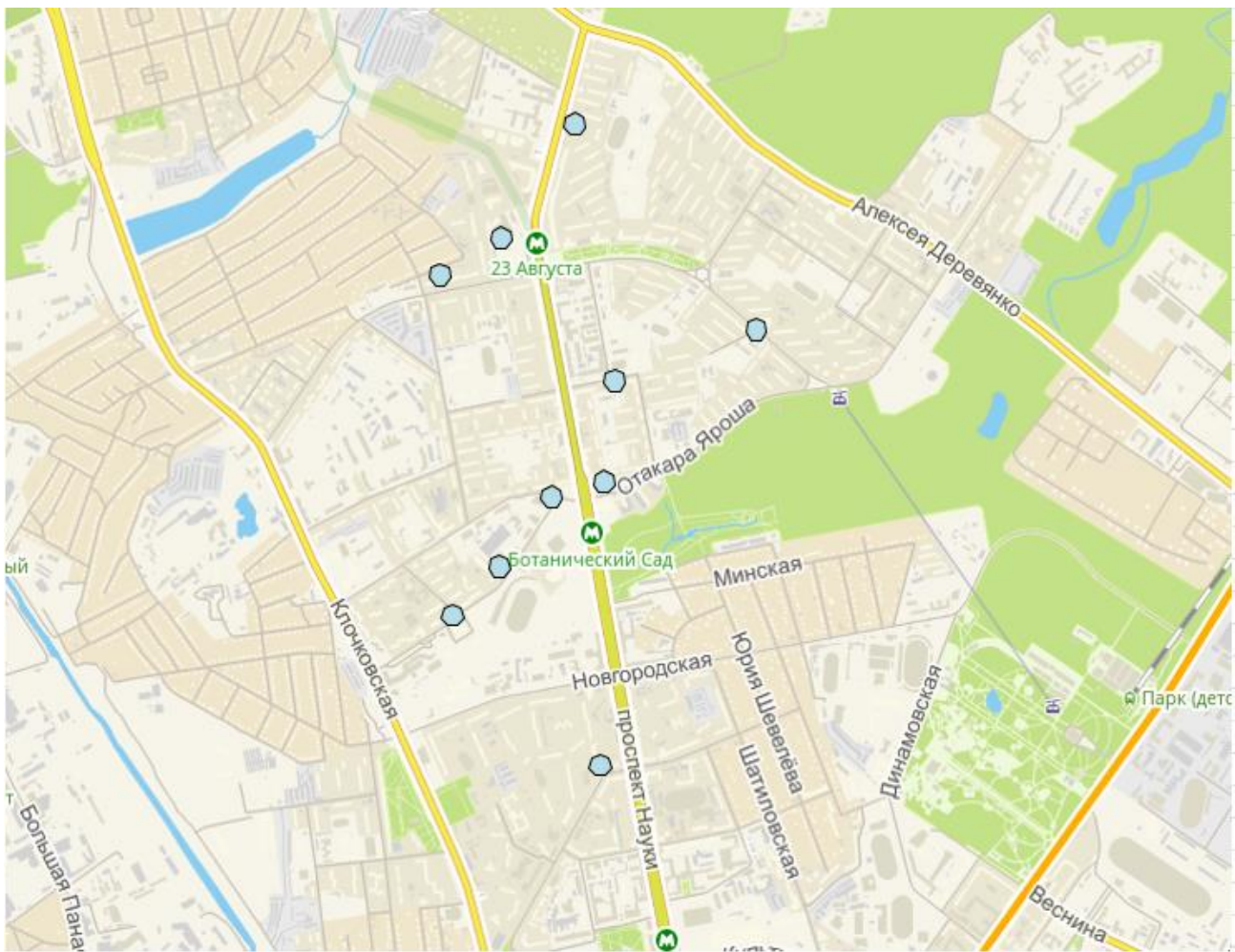


Рисунок 2.3 – Район дослідження:

● – роздрібного торговця

Із умов, що магазини повинні бути в межах пішохідної доступності (1,5 км) визначаємо межі району (рис. 2.4).

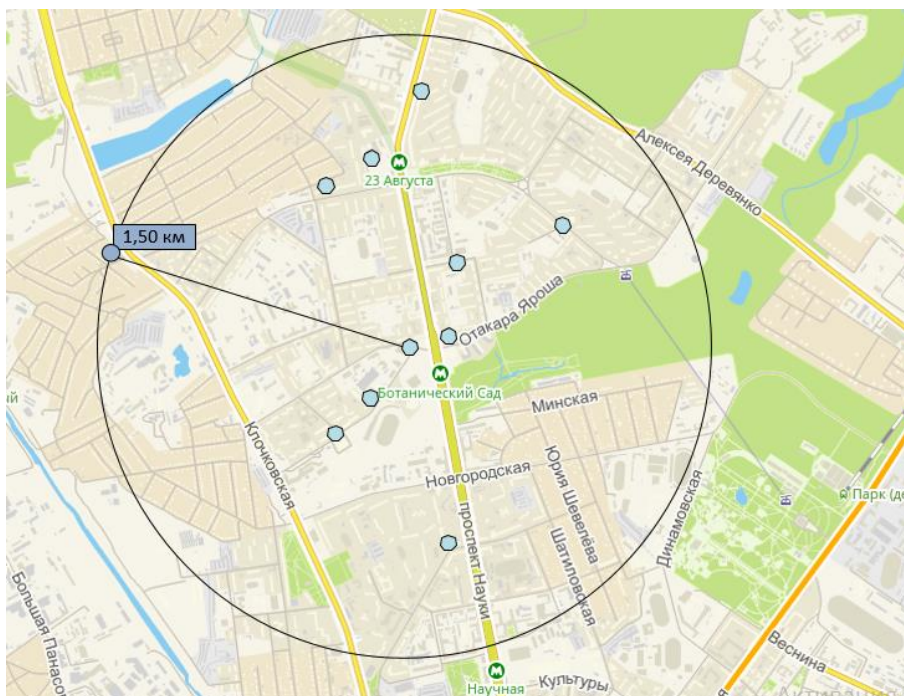


Рисунок 2.4 – Торгова зона

Далі формуємо межі торгової зони з врахуванням типу забудови, формуємо мікрорайони та позначаємо торгові об'єкти (рис. 2.5).

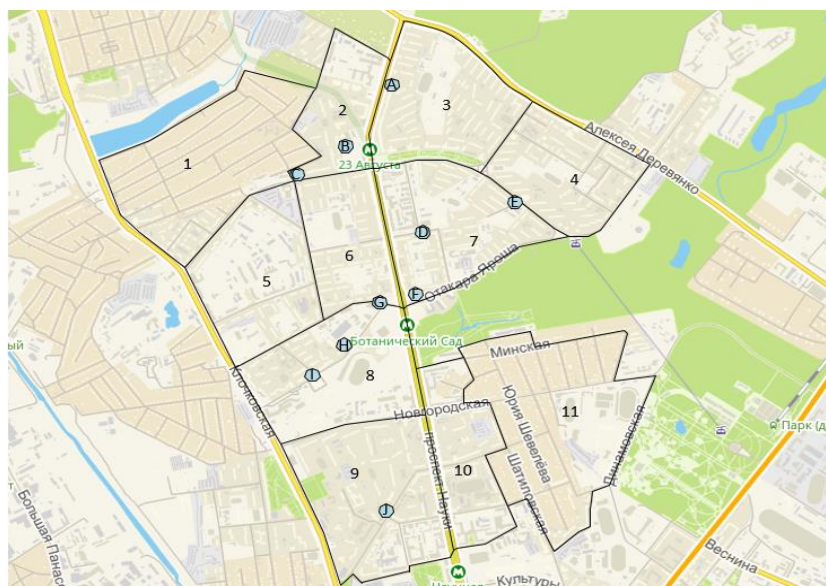


Рисунок 2.5 – Скоригована торгова зона:

1 – мікрорайон; А – торговий об'єкт.

В табл. 2.1 та 2.2 наведено відстані від мікрорайонів до торгових об'єктів «по повітрю» і «по дорозі».

Таблиця 2.1 – Матриця відстаней від мікрорайону
до роздрібного торговця «по повітрю»

Торговий об'єкт (ТО)	Позначення	Номер мікрорайону										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Digma 1	A	1,06	0,23	0,32	1,03	1,23	0,84	0,77	1,6	2,2	2,09	2,2
Клас	B	0,75	0,4	0,6	1,2	0,9	0,6	0,76	1,38	2,09	1,98	2,13
Чудо-маркет	C	0,48	0,6	0,94	1,46	0,93	0,49	0,89	1,2	1,94	1,92	2,15
Digma 2	D	1,21	0,95	0,86	0,93	0,9	0,37	0,2	0,92	1,52	1,3	1,46
АТБ 1	E	1,71	1,15	0,74	0,3	1,54	0,99	0,42	1,48	1,94	1,51	1,4
«Літо»	F	1,37	1,2	1,09	1,12	0,91	0,46	0,45	0,66	1,22	0,99	1,2
Сільпо	G	1,16	1,32	1,4	1,5	0,47	0,37	0,6	0,45	1,15	1,04	1,3
АТБ 2	H	1,31	1,51	1,59	1,62	0,8	0,59	0,92	0,18	0,91	1	1,32
Смаковниця	I	1,21	1,64	1,81	1,87	0,69	0,82	1,18	0,1	0,74	1	1,36
Le Silpo	J	2,28	2,49	2,48	2,26	1,53	1,6	1,77	0,83	0,13	0,58	1,07

Таблиця 2.2 – Матриця відстаней від мікрорайону
до роздрібного торговця «по дорозі»

Торговий об'єкт (ТО)	Позначення	Номер мікрорайону										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Digma 1	A	1,4	0,25	0,45	1,6	2	1	1,1	2	2,6	2,5	2,6
Клас	B	1	0,7	1	1,6	0,9	0,8	1,1	1,9	2,6	2,5	2,6
Чудо-маркет	C	0,65	1,1	1,3	1,7	1,7	0,65	1,2	1,5	2,6	2,5	2,7
Digma 2	D	1,5	1,2	1,2	1,5	1,4	0,4	0,21	1,3	1,9	1,8	1,7
АТБ 1	E	2	1,5	1,1	0,55	1,9	1	0,43	1,5	2,5	2	1,5
«Літо»	F	2	1,7	1,8	1,5	1,5	0,7	0,6	0,95	1,5	1,3	1,4
Сільпо	G	1,4	1,9	2	1,9	0,75	0,7	0,85	0,7	1,6	1,4	1,7
АТБ 2	H	2,5	2,1	2,1	2,2	1,3	1,1	1,2	0,3	1,8	1,8	2
Смаковниця	I	1,8	2,4	2,5	2,3	0,9	1,1	1,2	0,12	1,4	1,9	2,2
Le Silpo	J	3	3	3,1	3	2,1	2	2,1	1,6	0,21	0,7	1,2

Результати розрахунків за залежністю (2.1) наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Значення коефіцієнтів непрямолінійності сполучення

ТО	Номер мікрорайону										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A	1,32	1,09	1,41	1,55	1,63	1,19	1,43	1,25	1,18	1,20	1,18
B	1,33	1,75	1,67	1,33	1,00	1,33	1,45	1,38	1,24	1,26	1,22
C	1,35	1,83	1,38	1,16	1,83	1,33	1,35	1,25	1,34	1,30	1,26
D	1,24	1,26	1,40	1,61	1,56	1,08	1,05	1,41	1,25	1,38	1,16
E	1,17	1,30	1,49	1,83	1,23	1,01	1,02	1,01	1,29	1,32	1,07
F	1,46	1,42	1,65	1,34	1,65	1,52	1,33	1,44	1,23	1,31	1,17
G	1,21	1,44	1,43	1,27	1,60	1,89	1,42	1,56	1,39	1,35	1,31
H	1,91	1,39	1,32	1,36	1,63	1,86	1,30	1,67	1,98	1,80	1,52
I	1,49	1,46	1,38	1,23	1,30	1,34	1,02	1,20	1,89	1,90	1,62
J	1,32	1,20	1,25	1,33	1,37	1,25	1,19	1,93	1,62	1,21	1,12

Приклад розрахунок коефіцієнту ухилу k_y (2.2):

$$k_y^{I-A} = 1 + \frac{0,137 - 0,157}{1,06} = 0,981.$$

Аналогічним чином проводимо розрахунки для інших випадків (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Значення коефіцієнтів ухилу

ТО	Номер мікрорайону										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
коефіцієнт ухилу (до магазину)											
A	0,981	0,970	1,022	1,015	0,983	0,992	0,995	0,986	0,990	0,995	0,998
B	0,983	0,983	1,012	1,013	0,977	0,988	0,995	0,984	0,990	0,995	0,998
C	0,971	0,988	1,007	1,010	0,977	0,986	0,996	0,982	0,989	0,995	0,998
D	0,988	0,993	1,008	1,016	0,977	0,981	0,980	0,976	0,986	0,992	0,997
E	0,985	0,994	1,009	1,050	0,986	0,993	0,990	0,985	0,989	0,993	0,997
F	1,003	0,994	1,006	1,013	0,977	0,985	0,991	0,967	0,983	0,990	0,997
G	1,000	0,995	1,005	1,010	0,955	0,981	0,993	0,951	0,982	0,990	0,997
H	1,005	0,995	1,004	1,009	0,974	0,988	0,996	0,878	0,977	0,990	0,997
I	1,012	0,996	1,004	1,008	0,970	0,991	0,997	0,780	0,972	0,990	0,997
J	1,001	0,997	1,003	1,007	0,986	0,996	0,998	0,973	0,838	0,983	0,996

ТО	Номер мікрорайону										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
коефіцієнт ухилу (від магазину)											
A	1,019	1,030	0,978	0,985	1,017	1,008	1,005	1,014	1,010	1,005	1,002
B	1,017	1,000	0,977	0,982	1,016	1,000	0,996	1,011	1,007	1,002	0,999
C	1,029	1,002	0,986	0,986	1,016	1,002	0,998	1,013	1,008	1,002	0,999
D	1,012	1,001	0,985	0,977	1,017	1,003	0,990	1,017	1,010	1,003	0,999
E	1,015	1,010	0,997	0,967	1,017	1,012	1,021	1,018	1,013	1,010	1,006
F	0,997	0,986	0,972	0,965	0,997	0,963	0,956	0,997	0,998	0,986	0,983
G	1,000	0,990	0,981	0,977	1,002	0,965	0,973	1,004	1,001	0,990	0,988
H	0,995	0,987	0,979	0,975	0,994	0,968	0,976	0,978	0,995	0,984	0,983
I	0,988	0,984	0,977	0,974	0,981	0,967	0,975	0,880	0,982	0,976	0,978
J	0,999	0,994	0,988	0,983	0,999	0,990	0,989	0,999	0,985	0,978	0,982

Відповідно до алгоритму (рис. 2.1) визначення меж ділянки, що обслуговує магазини логістичних систем, була визначена зона обслуговування. Розраховано коефіцієнт непрямої лінійності та коефіцієнт ухилу від та до роздрібного торговця. Роздрібним торговцем було обрано супермаркет "Сільпо" за адресом: вул. Отакара Яроша, 18 Д у Харкові.

2.2. Моделювання потоків міських товарів

2.2. Modelling of flows of urban goods

Оцінка повних витрат споживачів внаслідок процесу придбання

Загальні (генералізовані) витрати покупця можна оцінити за допомогою функції:

$$\Theta_{\text{заг}}^{ij} = \Theta_1^{ij} + \Theta_2^j + \Theta_3^{ij} \rightarrow \min, \quad (2.3)$$

де Θ_1^{ij} – витрати часу на покупку товару в грошовому вираженні, грн.;

Θ_2^j – грошові витрати на покупку товару в магазині j , грн.;

Θ_3^{ij} – витрати енергії споживача в грошовому вираженні, грн.;

j – роздрібний торговець; i – район.

Модель для визначення витрат покупця виглядає так:

$$\Theta_1^{ij} = C_{nz} \cdot t^{purch}, \quad (2.4)$$

де t^{purch} – оцінка часу, год.;

C_{nz} – вартість вільного часу покупця, грн./год.

При оцінці часу потрібно враховувати й час на торговельне обслуговування в середині роздрібною мережі:

$$t_{ij}^{purch} = t_{ij}^{walking} + t_{ji}^{nwalking} + t_j^{TS}, \quad (2.5)$$

де $t_{ij}^{walking}$ – час пішого руху з району i до роздрібного торговця j , год.;

t_j^{TS} – час відвідування j роздрібного торговця, год.;

$t_{ji}^{nwalking}$ – час пішого руху від роздрібного торговця j до району i , год.

Вартість години вільного часу покупця знаходимо по формулі:

$$C_t^{hour} = \frac{\bar{S}_{pc}}{\Phi_{ctf} - (\Phi_{wtf} + \Phi_{ftf})}, \quad (2.6)$$

де \bar{S}_{pc} – середня заробітна плата людей в районі дослідження, грн.
($\bar{S}_{pc} = 5300$ грн);

Φ_{ctf} – часовий фонд календарного часу за місяць, год. ($\Phi_{ctf} = 720$ год.);

Φ_{wtf} – місячний фонд робочого часу, год. ($\Phi_{wtf} = 174,6$ год.);

Φ_{ftf} – місячний фонд вільного часу, год. ($\Phi_{ftf} = 300$ год.).

Модель зміни часу необхідного для здійснення процесу покупки у магазині j можна описати за допомогою такої моделі:

$$t_j^{TS} = \sqrt{0,386 \cdot S_j^{shop}}, \quad (2.7)$$

де S_j^{shop} – площа магазину, м².

Модель зміни часу пішого руху від району i до магазину j :

$$t_{ij}^{walking} = 19,63 \cdot LOG(k_y^{ij}) + 1,679 \cdot R^{ij} + 15,438 \cdot l_{нов}^{ij} . \quad (2.8)$$

Грошові витрати на покупку товару знаходяться по формулі:

$$\Theta_2^{ij} = \frac{\sum_i (Q_i \cdot P_{ціна})}{365} , \quad (2.9)$$

де $P_{ціна}$ – ціна матеріального потоку, грн./кг;

Q_i – норма споживання матеріального потоку в середньому на 1 мешканця за рік, що проживає i -ому районі забудови за аналізований період, кг/мешканця.

Визначення витрат фізичних сил в грошовому вираженні знаходимо як:

$$\Theta_3^{ij} = KCal_{ij}^{cn} \cdot S_{KCal}^{cn} , \quad (2.10)$$

де $KCal_{ij}^{cn}$ – кількість калорій, які людина витрачає при купівлі товарів, ккал;

S_{KCal}^{cn} – вартість однієї калорії, грн/ккал.

Кількість калорій, які людина витрачає при купівлі товару складається з частин:

$$KCal_{ij}^{cn} = KCal_{ij}^{movm} + KCal_{ij}^{''movm} + KCal_{ij}^{TS} , \quad (2.11)$$

де $KCal_{ij}^{movm}$, $KCal_{ji}^{''movm}$ – величини енергетичних витрат людського організму в умовах руху від району i до роздрібного торговця j та в зворотному напрямку (відповідно), ккал;

$KCal_j^{TS}$ – величини енергетичних витрат людського організму під час торговельного обслуговування в j магазині, ккал.

Модель зміни енергетичних витрат під час пішого руху від району i до магазину j :

$$KCal_{ij}^{movm} = 92,388 \cdot LOG(k_y^{ij}) + 8,863 \cdot R^{ij} + 78,092 \cdot l_{нов}^{ij} . \quad (2.12)$$

Модель зміни енергетичних витрат людського організму під час торговельного обслуговування в магазині j :

$$KCal_j^{TS} = \sqrt{0,000232 \cdot S_j^{shop^2}} . \quad (2.13)$$

Вартість калорії людини залежить від ціни матеріального потоку та норми споживання:

$$S_{KCal}^{en} = \frac{\sum_i (Q_i \cdot P_{ціна})}{ALF \cdot 365} \cdot \quad (2.14)$$

ALF – добова норма енергії людини (споживача), ккал.

Час пересування до роздрібного торговця розраховано за допомогою отриманої моделі за формулою 2.8:

$$t_{l-A}^{walking} = 19,63 \cdot \text{LOG}(0,981) + 1,679 \cdot 1,32 + 15,438 \cdot 1,06 = 18,4 \text{ хв.}$$

Аналогічно проводимо розрахунки для інших випадків. Результати представлено в табл. 2.5 та 2.6.

Таблиця 2.5 – Час пересування до роздрібного торговця, хв

ТО	Номер мікрорайону										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A	18,4	5,1	7,5	18,6	21,6	14,9	14,2	26,7	35,9	34,2	35,9
B	13,7	9	12,2	20,9	15,4	11,4	14,1	23,5	34,3	32,6	34,9
C	9,4	12,2	16,9	24,6	17,2	9,7	16,0	20,5	32,1	31,8	35,3
D	20,7	16,7	15,7	17,2	16,3	7,4	4,7	16,4	25,4	22,3	24,5
E	28,2	19,9	14,0	8,1	25,7	16,9	8,1	24,4	32,0	25,5	23,4
F	23,6	20,9	19,7	19,7	16,6	9,5	9,1	12,3	20,8	17,4	20,5
G	19,9	22,7	24,1	25,4	9,5	8,7	11,6	9,1	19,9	18,2	22,2
H	23,5	25,6	26,8	27,4	14,9	12,1	16,4	4,5	17,2	18,4	22,9
I	21,3	27,7	30,3	31,0	12,6	14,8	19,9	1,4	14,4	18,5	23,7
J	37,4	40,4	40,4	37,2	25,8	26,8	29,3	15,8	3,2	10,8	18,4

Таблиця 2.6 – Час пересування від роздрібного торговця, хв

ТО	Номер мікрорайону										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A	18,9	5,7	7,2	18,5	22,0	15,1	14,5	27,0	36,1	34,4	36,1
B	14,1	9,3	12,0	20,7	15,8	11,6	14,3	23,8	34,5	32,8	35,0
C	10,1	12,5	16,8	24,5	17,7	9,9	16,1	20,8	32,4	32,0	35,4

D	21,0	16,9	15,6	17,0	16,8	7,6	4,9	16,8	25,8	22,5	24,6
E	28,6	20,1	14,0	7,6	26,1	17,2	8,5	24,8	32,3	25,7	23,6
F	23,7	20,9	19,5	19,4	16,9	9,5	8,9	12,7	21,0	17,5	20,4
G	20,0	22,8	24,0	25,2	10,1	8,8	11,5	9,7	20,2	18,4	22,3
H	23,6	25,7	26,7	27,2	15,2	12,1	16,3	5,5	17,5	18,5	22,9
I	21,2	27,8	30,2	30,8	12,8	14,7	19,8	2,6	14,6	18,6	23,7
J	37,5	40,5	40,4	37,1	26,0	26,8	29,3	16,2	4,7	10,9	18,3

В табл. 2.7 наведені такі характеристики мікрорайонів, як кількість жителів та кількість домогосподарств.

Таблиця 2.7 – Характеристики мікрорайонів

Номер	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Кількість мешканців, люд.	5983	6190	12940	16360	7720	9360	17680	12040	9160	6023	2883

Час на торгове обслуговування був розрахований за допомогою отриманої моделі за формулою 2.7:

$$t_A^{TS} = \sqrt{0,386 \cdot 650} = 15,8 \text{ хв.}$$

Аналогічно проводимо розрахунки для інших випадків. Результати представлено в табл. 2.8.

За формулою 2.5 розрахуємо загальний час на відвідування роздрібного торговця споживачем:

$$t_{i-A}^{purch} = \frac{18,4 + 18,9 + 15,8}{60} = 0,89 \text{ год.}$$

Аналогічним чином було розраховано для інших випадків. Результати представлено в табл. 2.9.

Таблиця 2.8 – Час торговельного обслуговування

ТО	Час торговельного обслуговування, хв.	Площа роздрібного торговця, м ² (S_j^{shop})
----	---------------------------------------	--

A	15,8	650
B	32,8	2784
C	17,7	810
D	11,3	330
E	21,7	1216
F	19,1	945
G	26,9	1876
H	15,2	600
I	10,8	300
J	19,8	1020

За формулою 2.4 розрахуємо середню вартість часу споживача:

$$S_{год}^{cn} = \frac{3300}{720 - (174,6 + 300)} = 13,45 \text{ грн./год.}$$

Таблиця 2.9 – Загальні витрати часу, год

ТО	Номер мікрорайону										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A	0,89	0,44	0,51	0,88	0,99	0,76	0,74	1,16	1,46	1,41	1,46
B	1,01	0,85	0,95	1,24	1,07	0,93	1,02	1,33	1,69	1,64	1,71
C	0,62	0,71	0,86	1,11	0,88	0,62	0,83	0,98	1,37	1,36	1,47
D	0,88	0,75	0,71	0,76	0,74	0,44	0,35	0,74	1,04	0,94	1,01
E	1,31	1,03	0,83	0,62	1,22	0,93	0,64	1,18	1,43	1,21	1,14
F	1,11	1,01	0,97	0,97	0,88	0,63	0,62	0,74	1,01	0,90	1,00
G	1,11	1,21	1,25	1,29	0,78	0,74	0,83	0,76	1,12	1,06	1,19
H	1,04	1,11	1,15	1,16	0,75	0,66	0,80	0,42	0,83	0,87	1,02
I	0,89	1,10	1,19	1,21	0,60	0,67	0,84	0,25	0,66	0,80	0,97
J	1,58	1,68	1,68	1,57	1,19	1,22	1,31	0,86	0,46	0,69	0,94

Енергетичні витрати під час пішого руху до магазину та від нього були розраховані за допомогою отриманої моделі за формулою 2.12:

$$KCal_{1-A}^{movm} = 92,388 \cdot \text{LOG}(0,981) + 8,863 \cdot 1,32 + 78,092 \cdot 1,06 = 93,7 \text{ ккал.}$$

Аналогічним чином було розраховано для інших випадків (табл. 2.10 та 2.11).

Таблиця 2.10 – Енергетичні витрати під час пішого руху до магазину, ккал

ТО	Номер мікрорайону										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A	93,7	26,4	38,3	94,8	109,8	75,8	72,6	135,5	181,9	173,6	182,2
B	69,7	46	62,1	106,0	78,2	58,2	72,0	119,3	173,8	165,6	177,1
C	48,3	62,6	86,0	124,7	87,9	49,4	81,3	104,0	162,9	161,3	179,0
D	105,0	85,1	79,9	87,6	83,1	37,7	24,1	83,4	129,2	113,5	124,2
E	143,3	101,1	71,3	41,6	130,6	86,0	41,5	124,0	162,5	129,4	118,7
F	120,0	106,0	100,0	99,9	84,7	48,8	46,6	62,9	105,5	88,5	103,9
G	101,3	115,6	122,2	128,8	49,0	44,9	59,1	46,9	101,4	92,8	113,0
H	119,4	130,1	136,0	138,9	75,8	62,1	83,2	23,6	87,7	93,6	116,4
I	108,1	140,9	153,7	157,3	64,2	75,6	101,0	8,5	73,4	94,5	120,4
J	189,8	205,0	204,9	188,5	131,1	135,9	148,6	80,8	17,4	55,3	93,3

Таблиця 2.11 – Енергетичні витрати під час пішого руху від магазину, ккал

ТО	Номер мікрорайону										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A	95,2	28,8	36,6	93,6	111,1	76,5	73,0	136,6	182,7	174,0	182,3
B	71,1	46,7	60,7	104,8	79,8	58,7	72,0	120,4	174,5	165,9	177,1
C	50,6	63,2	85,1	123,8	89,5	50,1	81,4	105,3	163,7	161,6	179,0
D	105,9	85,4	78,9	86,0	84,7	38,6	24,5	85,1	130,2	113,9	124,3
E	144,5	101,8	70,9	38,3	131,9	86,7	42,7	125,3	163,5	130,1	119,1
F	119,8	105,7	98,6	97,9	85,5	47,9	45,1	64,2	106,1	88,4	103,4
G	101,3	115,4	121,2	127,4	50,9	44,2	58,3	49,1	102,2	92,8	112,6
H	119,0	129,7	135,0	137,5	76,6	61,3	82,4	27,9	88,4	93,4	115,8
I	107,2	140,4	152,7	155,9	64,7	74,6	100,1	13,3	73,8	94,0	119,6
J	189,7	204,9	204,3	187,6	131,6	135,6	148,3	81,9	23,8	55,1	92,8

Витрати часу покупця в грошовому вираженні розрахуємо за формулою 2.4. Результати представлено в табл. 2.12.

Таблиця 2.12 – Витрати часу в грошовому вираженні, грн

ТО	Номер мікрорайону										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A	11,91	5,98	6,85	11,88	13,32	10,28	9,98	15,59	19,69	18,94	19,69
B	13,57	11,43	12,76	16,67	14,33	12,51	13,71	17,95	22,76	22,02	23,02

C	8,33	9,51	11,52	14,96	11,80	8,36	11,15	13,22	18,42	18,25	19,81
D	11,86	10,07	9,55	10,20	9,95	5,89	4,67	9,97	14,01	12,59	13,52
E	17,59	13,83	11,14	8,38	16,47	12,50	8,58	15,89	19,28	16,33	15,38
F	14,89	13,64	13,06	13,02	11,80	8,54	8,32	9,89	13,64	12,10	13,45
G	14,99	16,25	16,80	17,36	10,43	9,95	11,21	10,26	15,03	14,23	16,01
H	13,95	14,90	15,40	15,64	10,14	8,85	10,73	5,65	11,18	11,67	13,68
I	11,93	14,85	15,97	16,27	8,10	9,04	11,31	3,31	8,91	10,73	13,02
J	21,24	22,59	22,56	21,09	16,07	16,46	17,59	11,63	6,23	9,32	12,68

Енергетичні витрати під час торгівельного обслуговування були розраховані за допомогою отриманої моделі за формулою 2.13:

$$KCal_A^{TS} = \sqrt{0,000232 \cdot 650^2} = 9,9 \text{ ккал.}$$

Аналогічним чином було розраховано для інших випадків.

За формулою 2.11 розрахуємо загальну кількість калорій, які людина витрачає при купівлі товару:

$$KCal_{I-A}^{cn} = 93,7 + 95,2 + 9,9 = 198,9 \text{ ккал.}$$

Аналогічним чином було розраховано для інших випадків. Результати представлено в табл. 2.13.

За формулою 2.14 розрахуємо вартість калорії людини:

$$S_{KCal}^{cn} = \frac{0,3 \cdot 10,79 + 8,8 \cdot 11,76 + \dots + 12,15 \cdot 37,6}{2790,8 \cdot 365} = 0,015 \text{ грн.}$$

Таблиця 2.13 – Загальні енергетичні витрати під час пішого руху від магазину, ккал.

ТО	№ мікрорайону										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A	198,9	65,1	84,8	198,3	230,8	162,2	155,5	281,9	374,5	357,5	374,5
B	183,2	135,2	165,2	253,2	200,4	159,3	186,4	282,1	390,7	373,9	396,6
C	111,3	138,1	183,4	260,8	189,7	111,9	175,0	221,7	339,0	335,2	370,3
D	216,0	175,5	163,8	178,6	172,9	81,3	53,7	173,5	264,4	232,4	253,5

E	306,3	221,4	160,7	98,5	281,0	191,2	102,7	267,8	344,5	278,0	256,3
F	254,2	226,1	213,0	212,2	184,7	111,1	106,1	141,5	225,9	191,3	221,7
G	231,1	259,6	272,0	284,8	128,5	117,7	146,0	124,6	232,1	214,1	254,2
H	247,6	268,9	280,2	285,6	161,6	132,5	174,8	60,7	185,2	196,2	241,4
I	219,9	285,8	311,0	317,7	133,5	154,7	205,7	26,4	151,8	193,1	244,6
J	395,0	425,4	424,7	391,6	278,2	287,0	312,5	178,2	56,8	125,9	201,7

Енергетичні витрати споживача в грошовому вираженні розрахуємо за формулою 2.10:

$$\Theta_3^{I-A} = 198,9 \cdot 0,015 = 2,97 \text{ грн.}$$

Аналогічним чином було розраховано для інших випадків. Результати представлено в табл. 2.14.

Таблиця 2.14 – Енергетичні витрати в грошовому вираженні, грн

ТО	Номер мікрорайону										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A	2,97	0,97	1,27	2,96	3,45	2,42	2,32	4,21	5,59	5,34	5,60
B	2,61	1,92	2,35	3,60	2,85	2,27	2,65	4,01	5,56	5,32	5,64
C	1,59	1,98	2,63	3,74	2,72	1,60	2,51	3,18	4,86	4,80	5,31
D	3,23	2,62	2,45	2,67	2,58	1,22	0,80	2,59	3,95	3,47	3,79
E	3,96	2,86	2,08	1,27	3,63	2,47	1,33	3,46	4,45	3,59	3,31
F	3,62	3,22	3,03	3,02	2,63	1,58	1,51	2,01	3,21	2,72	3,15
G	3,40	3,82	4,00	4,19	1,89	1,73	2,15	1,83	3,41	3,15	3,74
H	3,20	3,48	3,62	3,69	2,09	1,71	2,26	0,78	2,39	2,54	3,12
I	3,13	4,07	4,42	4,52	1,90	2,20	2,93	0,37	2,16	2,75	3,48
J	5,62	6,05	6,04	5,57	3,96	4,08	4,44	2,53	0,81	1,79	2,87

Грошові витрати на покупку товару у роздрібного торговця знаходимо за формулою 2.7:

$$\Theta_2^A = \frac{10,79 \cdot 0,3 + 11,76 \cdot 8,8 + \dots + 37,6 \cdot 12,15}{365} = 41,7 \text{ грн.}$$

Загальні витрати покупця розрахуємо по формулі 2.3:

$$\Theta_{\text{заг}}^{I-A} = 11,91 + 41,7 + 2,97 = 56,58 \text{ грн.}$$

Аналогічним чином було розраховано для інших випадків. Результати представлено в табл. 2.15.

Таблиця 2.15 – Загальні витрати покупця, грн

ТО	Номер мікрорайону										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A	56,58	48,65	49,82	56,54	58,47	54,41	54,01	61,50	66,98	65,98	66,98
B	55,87	53,05	54,81	59,97	56,88	54,47	56,05	61,66	68,02	67,03	68,36
C	49,91	51,48	54,14	58,69	54,51	49,95	53,65	56,39	63,27	63,04	65,10
D	56,79	54,39	53,69	54,57	54,23	48,81	47,17	54,27	59,66	57,76	59,01
E	57,63	52,77	49,29	45,72	56,18	51,04	45,98	55,42	59,81	56,00	54,77
F	58,20	56,55	55,78	55,74	54,12	49,81	49,53	51,60	56,54	54,52	56,30
G	59,44	61,11	61,84	62,60	53,37	52,73	54,41	53,14	59,49	58,43	60,79
H	53,23	54,45	55,10	55,41	48,30	46,64	49,06	42,51	49,65	50,28	52,87
I	54,76	58,61	60,09	60,48	49,69	50,94	53,93	43,38	50,76	53,18	56,20
J	66,55	63,67	63,62	61,69	55,05	55,92	57,36	49,49	42,34	46,33	50,78

Оцінка матриці ймовірності попиту

Вірогідність відвідування роздрібного торговця (P_{ij}) знаходимо як:

$$P_{ij} = \frac{\frac{1}{\Theta_{заг}^{ij}} \cdot N_i}{\sum_{j=1}^J \frac{1}{\Theta_{заг}^{ij}} \cdot N_i}, \quad (2.15)$$

де N_i – кількість мешканців у мікрорайоні, люд.

Обсяг споживання продуктів окремого роздрібного торговця буде визначатись за залежністю наведеною нижче. Подальші розрахунки вести для обраного магазину:

$$q_j = P_{ij} \cdot N_i \cdot Q_i, \quad (2.16)$$

Припускається, що обсяг споживання продуктів протягом року прирівнюється до обсягів завезення:

$$q_j = q_{ном}^{МП}, \quad (2.17)$$

де q_j – обсяг споживання, т; $q_{\text{пот}}^{\text{МП}}$ – обсяг завезення, т.

Вірогідність відвідування роздрібного торговця знаходимо за формулою 2.15. Результати представлено в табл. 2.16.

Таблиця 2.16 – Імовірність відвідування роздрібного торговця

ТО	Номер мікрорайону											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Σ
A	0,005	0,007	0,013	0,015	0,007	0,009	0,017	0,010	0,007	0,005	0,002	0,097
B	0,006	0,006	0,012	0,014	0,007	0,009	0,016	0,010	0,007	0,005	0,002	0,094
C	0,006	0,006	0,012	0,014	0,007	0,010	0,017	0,011	0,007	0,005	0,002	0,099
D	0,005	0,006	0,012	0,015	0,007	0,010	0,019	0,011	0,008	0,005	0,003	0,103
E	0,005	0,006	0,014	0,018	0,007	0,009	0,020	0,011	0,008	0,006	0,003	0,107
F	0,005	0,006	0,012	0,015	0,007	0,010	0,018	0,012	0,008	0,006	0,003	0,102
G	0,005	0,005	0,011	0,013	0,007	0,009	0,017	0,012	0,008	0,005	0,002	0,095
H	0,006	0,006	0,012	0,015	0,008	0,010	0,019	0,015	0,010	0,006	0,003	0,109
I	0,006	0,005	0,011	0,014	0,008	0,009	0,017	0,014	0,009	0,006	0,003	0,103
J	0,005	0,005	0,010	0,013	0,007	0,008	0,015	0,012	0,010	0,006	0,003	0,092
Σ	0,054	0,057	0,120	0,148	0,073	0,093	0,175	0,118	0,082	0,054	0,025	1

Приклад розрахунку вірогідності відвідування роздрібного торговця:

$$P_{I-A} = \frac{\frac{1}{56,58} \cdot 5983}{\frac{1}{56,58} \cdot 5983 + \frac{1}{48,65} \cdot 6190 + \dots + \frac{1}{66,98} \cdot 2883} = 0,005$$

Обсяг споживання продуктів розраховано для магазину Сільпо:

$$q_{\text{борошно житнє}} = 0,097 \cdot 106339 \cdot 0,3 = 334,4 \text{ кг/рік.}$$

Обсяг споживання продуктів протягом року прирівнюється до обсягів завезення:

$$q_{\text{борошно житнє}} = q_{\text{пот}}^{\text{МП}} = 334,4, \text{ кг/рік.}$$

В табл. 2.17 занесені обсяги завезення продуктів за рік за розрахунками формули 2.16.

Таблиця 2.17 – Обсяги завезення продуктів в магазин G

Продукти	Необхідна к-ть (кг/рік)	Продукти	Необхідна к-ть (кг/рік)
молоко збиране	12260,8	цукор	12818,1
молоко незбиране	92513,2	кефір	12260,8

Функція визначення ймовірності відвідування роздрібного торговця:

$$P_{j\omega z} = -0,0002 \cdot \Theta_2^{ij} + 0,0014 \cdot L_{нов}^{jw} + 9,3418 \cdot 10^{-7} \cdot N_z + 0,0089 \cdot k_y^{jw} - 3,5327 \cdot 10^{-7} \cdot S_j, \quad (2.18)$$

де z – район міста;

Результати оцінювання моделі наведені в табл. 2.18 та 2.19.

Таблиця 2.18 –Результати оцінювання моделі

Показник	Значення
Критерій Стьюдента:	
табличний	1,97
розрахунковий грошові витрати на покупку товару	-5,80823
розрахунковий відстань від домогосподарства до магазину	-13,5698
розрахунковий кількість мешканців у районі	69,6691
розрахунковий коефіцієнт ухилу	7,43393
розрахунковий площа роздрібного торговця	-4,35558
Критерій Фішера:	
табличний	3,88
розрахунковий	5945,72
Коефіцієнт кореляції	0,9964
Середня помилка апроксимації, %	1,08

Результати статистичного оцінювання доводять, що отримана модель характеризується достатньо високою інформаційною здатністю. Отже, можна зробити висновок про те, що отримана модель достатньо адекватно описує залежність зміни ймовірності від відстані грошові витрати на покупку товару, коефіцієнт ухилу, кількості мешканців у районі, площі торговельного об'єкта.

Таблиця 2.19 – Параметри функції ймовірності

№	Параметр	Умовне позначення	Мінімальне значення	Максимальне значення	Середнє значення
1	Грошові витрати на покупку товару	Θ_2^{ij}	36,07	41,7	38,9
2	Відстань до торговельного об'єкту	$L_{нов}^{ij}$	0,10	2,49	1,3
3	Коефіцієнт ухилу	k_y^{ij}	0,88	1,03	0,96
4	Кількість мешканців у зоні обслуговування	N_i	2883	1768 0	1028 2
5	Площа магазину	S_j	300	2784	1542

У другому розділі була визначена ймовірність відвідування роздрібного торговця. Були визначені параметри, які здійснюють вплив на показник. Зі збільшенням витрат на покупку, відстані до роздрібного торговця, коефіцієнта та площі магазину ймовірність відвідування роздрібного торговця зменшується, оскільки збільшується частина нецінових факторів. При збільшенні кількості населення, ймовірність навпаки збільшується.

2.3. Введення в моделювання інтегрованих вантажних перевезень

2.3. Introduction to modelling of integrated freight

Характеристика логістичних ланцюгів

Дані про товари і первинну упаковку наведені в табл. 2.20. Характеристика постачальників матеріального потоку табл. 2.21. Постачальники повинні знаходитися в межах Харківського району. Характеристика вантажів та особливих умов зберігання та перевезення наведено в табл. 2.22.

Таблиця 2.20 – Дані про товари і первинну упаковку

Найменування товару	Об'ємна маса, т/м ³	Характеристика упаковки, кг	Характеристика тари	Клас вантажу
1	0,85	1	Ящик з картону	2
2	1,027	0,9	Ящик полімерний	2
3	1,028			
4	1,031			

Таблиця 2.21 – Характеристика постачальників

Продукт	Назва підприємства	Адреса	Тип (виробник, розподільчий центр)	Години роботи	Час навантаження 1 тони МП, годин
1	ТМ СтоПудов	Сабуровська Набережна, 3	Виробник	8:00-18:00	0,4
2	ОАО Харківський молочний комбінат	вул. Роганська 149	Виробник	8:00-18:00	0,4
3					
4					

Таблиця 2.22 – Характеристика вантажів

Продукт	Строк придатності, днів	Температура зберігання і перевезення	Опис існуючих технологій доставки. Особливості технології	Сумісність при транспортуванні і складуванні вантажів
1	2	3	4	5
1	8 років	від 12 до 22 °С	Не дозволяється перевезення цукру в забруднених кузовах автомобілів (із слідами вантажів, що перевозились раніше), а також в автомобілях, в яких безпосередньо перед цим перевозили вапно, сіль, пахучі, тощо.	Сумісний

1	2	3	4	5
2	7 днів	від 2 до 4 °С	Перевезення здійснюється в авторефрижераторах, автомобілях-фургоних або бортових автомобілях з укриттям вантажу брезентом. Рухомий склад повинен мати санітарний паспорт, виданий територіальною санепідстанцією терміном не більш як на 6 місяців, а водій особисту санітарну книжку	Сумісний
3				
4				

Інформація щодо обсягу споживання по магазинах табл. 2.23.

Таблиця 2.23 – Характеристика споживачів

Параметри	Магазини
Назва	Сільпо
Адреса	вул. Отакара Яроша. 18 Д
Години роботи	8:00-22:00
Добовий обсяг продажів, т.	
1	0,0218
2	0,1571
3	0,0208
4	0,0218

Технологія обслуговування споживачів з щоденним завозом

Необхідна кількість обертів для обслуговування роздрібного торговця за період для кожного матеріального потоку знаходиться за залежністю:

$$N_{об-м} = \frac{\sum_{j=1}^J Q_m}{q_n \cdot \gamma_c}, \quad (2.19)$$

де q_n – номінальна вантажопідйомність автотранспортного засобу (АТЗ), т;

γ_c – коефіцієнт використання вантажопідйомності АТЗ;

Q_m – добовий обсяг споживання вантажу, т;

J – кількість магазинів завезення.

Характеристика системи просування матеріальних потоків наведена в табл. 2.24.

Таблиця 2.24 – Характеристика системи просування матеріальних потоків

Продукт	Модель АТЗ	Вантажопідйомність АТЗ, т.	Витрати палива на 100 км	Тип палива	Загальний обсяг завозу за рік, т	Середньодобовий обсяг завозу, т	Кількість обертів, од.
1	FORD Transit	1,5	9	д	159,8	0,438	1
1	Isuzu NQR	5	16	д	159,8	0,438	1
1	DAF 75cf	10	20	д	159,8	0,438	1
2	MB Sprinter 311	1,5	13	д	1322,5	3,625	3
2	IVECO 140E18	5	14	д	1322,5	3,625	1
2	MAN 14.264	10	15	д	1322,5	3,625	1

Побудова маршрутів перевезень вантажів

Використовуючи програмне забезпечення <https://ant-logistics.com> побудувати розвізні маршрути перевезень товарів від вантажовідправників до всіх споживачів – магазинів. На рис. 2.6 представлено перший маршрут.

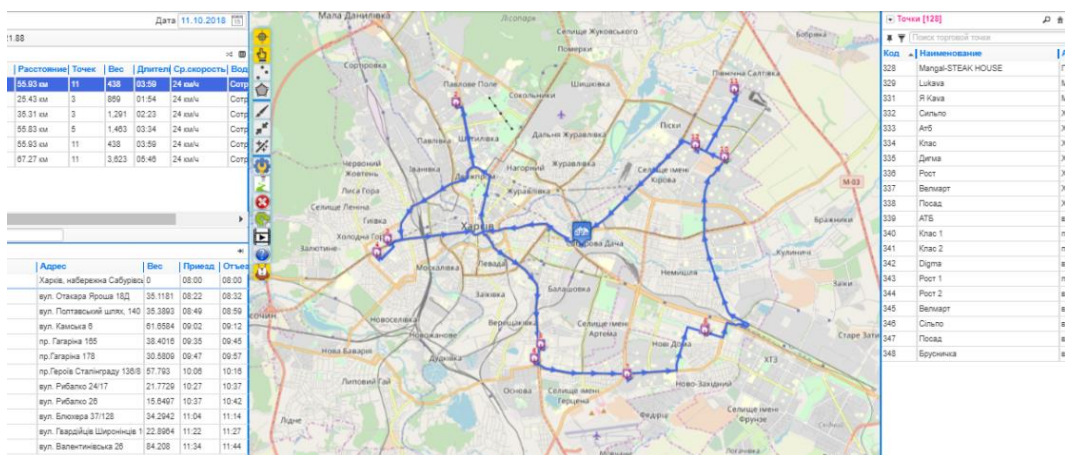


Рисунок 2.6 – Приклад розрахунку маршруту 1

Дані з програми «ant-logistics» зведені в табл. 2.25.

Таблиця 2.25 – Характеристика розроблених маршрутів

Номер маршруту	Вантажопідйомність АТЗ, т.	Відстань, км	Кількість пунктів заїзду	Вага	Час, год	Швидкість, км/год
1 МП - цукор						
1	1,5	55,93	11	0,438	3,59	24
2	5	55,93	11	0,438	3,59	24
3	10	55,93	11	0,438	3,59	24
2 МП – молоко збиране, молоко незбиране, кефір						
1	1,5	25,43	3	0,869	1,54	24
2	1,5	35,31	3	1,291	2,23	24
3	1,5	55,83	5	1,463	3,24	24
4	5	67,27	11	3,623	5,46	24
5	10	67,27	11	3,623	5,46	24

Визначення ефективності функціонування логістичної системи

Собівартість просування 1 т вантажу логістичною системою пропонується визначити за такою залежністю:

$$Z^{LS} = \sum_{m=1}^M (Z_T + Z_{storing}), \quad (2.20)$$

де Z_T – собівартість транспортування 1 тони вантажу, грн/т;

$Z_{скл}$ – Собівартість зберігання вантажу на складі, грн/год.

Собівартість транспортування 1 тони вантажу визначається за такою залежністю:

$$Z_T = \frac{l_{is}}{q_n \cdot \gamma_{cm} \cdot \beta} \cdot \left(B_{3M} + \frac{B_{II}}{V_T} \right) + \frac{B_{II} \cdot t_{n/p}}{q_n \cdot \gamma_{cm}}, \quad (2.21)$$

де l_{is} – довжина їздки з вантажем, км;

β – коефіцієнт використання пробігу;

V_T – технічна швидкість транспортного засобу, км/год.;

$t_{n/p}$ – час на навантаження-розвантаження, год.;

B_{VC} – змінні витрати транспортного процесу, грн./т;

B_C – постійні витрати транспортного процесу, грн./год.;

Для кожного не сумісного товару розраховувати окремо. Приклад розрахунку:

$$Z_T = \frac{49,97}{1,5 \cdot 0,29 \cdot 0,89} \cdot \left(0,21 + \frac{0,041}{24} \right) + \frac{0,041 \cdot 1,67}{1,5 \cdot 0,29} = 128,1 \text{ грн.}$$

Результати зведено до табл. 2.26.

Таблиця 2.26 – Розрахункові показники транспортування

Номер маршруту	Змінні витрати, грн/км	Постійні витрати, грн/год	Коефіцієнт використання пробігу	Статичний коефіцієнт використання місткості
1 матеріальний потік				
1	0,21	0,041	0,89	0,29
2	0,27	0,046	0,89	0,09
3	0,33	0,051	0,89	0,04
2 матеріальний потік				
4	0,21	0,041	0,54	0,58
5	0,21	0,041	0,52	0,86
6	0,21	0,041	0,73	0,98
7	0,27	0,046	0,86	0,72
8	0,32	0,051	0,86	0,36

Змінні витрати визначалися за залежністю:

$$B_{vc} = 0,113 \cdot q_n^{0,339} + 0,067 \cdot R_n^{-0,092}, \quad (2.22)$$

де R_n – питома витрата палива транспортного засобу, (л/100 км)/т.

$$B_{VC} = 0,113 \cdot 1,5^{0,339} + 0,067 \cdot 0,1^{-0,092} = 0,21 \text{ грн/км.}$$

Результати зведено до табл. 2.27.

Таблиця 2.27 – Логістичні витрати у фіксованій партії доставки

Продукти	Собівартість транспортування 1 тони вантажу, грн/т	Собівартість зберігання 1 т вантажу на складі учасника роздрібною мережі, грн/тон	Собівартість просування 1 т вантажу, грн/тон
1	128,1	155,4	283,5
	128,2		283,6
	128,3		283,7
2	54,39	37,59	92
	52,9		90,5
	52,3		89,9
	22,04		59,6
	22,08		146
3	54,39	37,59	92
	52,9		90,5
	52,3		89,9
	22,04		59,6
	22,08		146
4	54,39	37,59	92
	52,9		90,5
	52,3		89,9
	22,04		59,6
	22,08		146

Постійні витрати транспортного процесу можна визначити так:

$$B_C = 0,0015q_n^{0,92} + 0,0389A^{-0,095}, \quad (2.23)$$

де A – кількість транспортних засобів, од.

Приклад розрахунку:

$$B_C = 0,0015 \cdot 1,5^{0,92} + 0,0389 \cdot 1^{-0,095} = 0,041 \text{ грн/год.}$$

Собівартість зберігання 1 т вантажу на складі учасника роздрібною мережі визначаємо за такою залежністю:

$$Z_{storing} = \sum_{j=1}^n Q_{nom}^{МП} \cdot (13,165 - 2,131 \ln Q_{nom}^{МП}) + \sum_{j=1}^n S_j^{shop} \cdot (1,85 + 93,35 S_j^{shop}^{-0,839}). \quad (2.24)$$

Для кожного не сумісного товару розраховувати окремо. Приклад розрахунку:

$$Z_{storing} = (0,437 \cdot (13,165 - 2,131 \ln 0,437)) + (0,08 \cdot (1,85 + 93,35 \cdot 0,08^{-0,839})) = 68,03 \text{ грн/т}$$

Результати розрахунків зведено до табл. 3.8.

Визначення площі складу розраховуємо так:

$$S_j^{shop} = \frac{Q_{nom}^{МП}}{\delta_{cpj} h_j a_j}, \quad (2.25)$$

де δ_{cpj} – середнє навантаження на 1 м² площі j -го складу, т/м²;

h_j – висота укладки запасу j -му складі, м;

a_j – коефіцієнт використання площі j -го складу.

Приклад розрахунку:

$$S_j = \frac{0,437}{0,6 \cdot 2 \cdot 0,4} = 0,08 \text{ км}^2.$$

Далі визначаємо собівартість зберігання 1 тони вантажу в роздрібній мережі:

$$S_{скл} = \frac{\sum_{j=1}^m 3_j}{\sum_{j=1}^m Q_{nom}^{МП}}. \quad (2.26)$$

Приклад розрахунку:

$$S_{storing} = \frac{68,03}{0,437} = 155,38 \text{ грн/тон.}$$

Результати розрахунків зведено до табл. 2.27.

Приклад розрахунку собівартості просування 1 т вантажу логістичною системою за залежністю (2.20):

$$Z_{is} = 128,1 + 155,38 = 283,5 \text{ грн.}$$

Результати розрахунків зведено до табл. 2.27.

Вибір технології постачання

Результати розрахунку проведених для всіх матеріальних потоків по дням тижня зведені в табл. 2.28.

Таблиця 2.28 – Таблиця розрахунку показників системи постачання за умов щоденного завозу

Показники	Дні тижня						
	1	2	3	4	5	6	7
Продукт							
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1
Всього	4	4	4	4	4	4	4
Добовий обсяг поставки, т	4,06	4,06	4,06	4,06	4,06	4,06	4,06
Вантажопідйомність транспортного засобу, т	1,5	5	1,5	5	1,5	5	1,5
Обсяг зберігання, т	4,06	4,06	4,06	4,06	4,06	4,06	4,06
Вартість транспортування за день, грн	1280	2200	1280	2200	1280	2200	1280
Вартість складування за день, грн	1218	1218	1218	1218	1218	1218	1218
Загальні витрати за день, грн	2498	3418	2498	3418	2498	3418	2498

Модель розрахунку оптимального обсягу замовлення (EOQ):

$$Q_i^{opt} = \sqrt{\frac{2 \cdot q_j \cdot Z_T}{Z_{скл}}}, \quad (2.27)$$

Приклад розрахунку:

$$Q_i^{opt} = \sqrt{\frac{2 \cdot 7,95 \cdot 128,1}{155,38}} = 3,62 \text{ т.}$$

Кількість поставок за період обчислюється за формулою:

$$K_s = q_n / \bar{Q}_{opt}. \quad (2.28)$$

Приклад розрахунку:

$$K_s = 7,95 / 3,62 = 2 \text{ од.}$$

Кількість поставок за період придатності обчислюється за формулою:

$$K_s = \frac{n_{opt} \cdot 365}{t_j}, \quad (2.29)$$

де n_{opt} – кількість поставок за період, од.;

t – строк придатності продукції, діб.

Результати розрахунків зведені в табл. 2.29.

Таблиця 2.29 – Оптимальний обсяг завезення (EOQ) учаснику роздрібної мережі

Продукт	Обсяг попиту за рік, т	Попит, т	Добовий попит, т	Строк придатності, днів	Оптимальний обсяг завезення, т	Кількість поставок за рік, од.
1	12,82	51,27	0,04	1 460	4,60	2
2	92,51	1,77	0,25	7	5,74	53
3	12,26	0,24	0,03	7	2,09	53
4	12,26	0,24	0,03	7	2,09	53

Розраховано технологічні та економічні показники за умов використання оптимального обсягу завезення (EOQ) учаснику роздрібної мережі (табл. 2.30).

Таблиця 2.30 – Таблиця розрахунку показників системи постачання за умов оптимального обсягу завезення

Показники	Продукт	1	2	3	4	5	6	7	Всього за місяць, грн
Обсяг поставки, т	1	4,60	-	-	-	-	-	-	23
	2	1,77	-	-	-	-	-	-	8,85
	3	0,24	-	-	-	-	-	-	1,2
	4	0,24	-	-	-	-	-	-	1,2
	Всього	6,85	-	-	-	-	-	-	34,25
	1	4,60	4,56	4,53	4,49	4,46	4,42	4,39	120,825

Обсяг складування, т	2	1,77	1,52	1,27	1,01	0,76	0,51	0,25	23,94
	3	0,24	0,20	0,17	0,13	0,10	0,07	0,03	3,15
	4	0,24	0,20	0,17	0,13	0,10	0,07	0,03	3,15
	Всього	6,85	6,48	6,14	5,76	5,42	5,07	4,7	151,1
Витрати на транспортування, грн	1280	-	-	-	-	-	-	-	5760
Витрати на зберігання, грн	2055	1944	1842	1728	1626	1521	1410		54567
Загальні логістичні витрати, грн	3335	1944	1842	1728	1626	1521	1410		60327

Розраховано технологічні та економічні показники для різних технологій поповнення (табл. 2.31).

Таблиця 2.31– Показники використання технології постачання

Технологія постачання	Загальні витрати на просування протягом місяця, грн
Загальні витрати при щоденному постачанні, грн/місяць	78687
Загальні витрати за моделлю оптимального обсягу завезення(EOQ), грн/місяць	60327

У розділі було розглянуто технологію перевезення. Були задані умови транспортування і зберігання матеріальних. Використовуючи програмне забезпечення «ant-logistics», були створені маршрути від виробника до магазинів із використанням транспортних засобів вантажопідйомністю 1,5, 5 і 10 тон. Результати розрахунків показали, що для транспортування 1 матеріального потоку (цукру) необхідно використовувати транспортний засіб місткістю 1,5 т. Для всіх інших потоків – 5 т. Наступним кроком було порівняння щоденної технології постачання та оптимального обсягу завезення. Після проведених розрахунків загальні витрати за технологією оптимального обсягу завезення склали 60327 грн / місяць, а за щоденною поставкою – 78687грн./місяць.

Тема 3. Розумний транспорт Theme 3. Smart transport

Метою теми є:

- аналіз сучасних систем збору та обробки інформації про транспортні потоки, особливості застосування, перспективи розвитку;
- аналіз інтелектуальних систем безпеки дорожнього руху, що забезпечують контроль та регулювання швидкості руху, виконують інформування водіїв про умови руху;
- аналіз системи супутникової навігації на транспорті, засобів створення мобільних картографічних систем.

3.1. Інформаційні технології в управлінні транспортними потоками

3.2. Інтелектуальні системи безпеки руху

3.3. Супутникові навігаційні системи на транспорті

3.1. Інформаційні технології в управлінні транспортними потоками

3.1. Information technology in traffic management

*Системи збору та обробки інформації в інтелектуальних
транспортних системах*

Дослідження є найважливішою і невід'ємною частиною процесу управління, без них неможливе нормальне функціонування і розвиток дорожнього руху. Для прийняття оптимального рішення необхідно мати повну і достовірну інформацію, яка може бути отримана тільки в результаті досліджень.

Інтелектуальні транспортні системи (ІТС) з'являються як рішення для адекватного контролю та управління інформацією на дорогах, пропонуючи водіям та пасажиром безліч нових послуг, орієнтованих на поліпшення водіння, особливо тих, що стосуються безпеки руху. Сучасні ІТС повністю змінять спосіб доступу людей до програм та послуг, пов'язаних з дорожнім рухом, підвищуючи ефективність водіння та комфорт водіїв і пасажирів [24].

Вимірювання та аналіз характеристик транспортних потоків представляють практичний інтерес. Аналіз транспортного потоку виконували переважно методами вимірювання. До 1950-х років використовувались лише фототехнічні прийоми. На початку 1960-х років паралельно застосовувались три підходи: розрахунок

щільності потоку за підрахунком вхід-вихід, обчислення щільності потоку за замірами швидкості руху та завантаження дороги рухом у відсотках. Відеозйомки використовувались для оцінки макроскопічної щільності там, де існує точка огляду, з якої можна спостерігати досліджувану ділянку магістралі. Дослідження були спрямовані на автоматичне отримання характеристик щільності руху з відеозображень за допомогою методів виявлення та відстеження. Спочатку були застосовані фототехнічні прийоми, які виявили важливість і значення щільності транспортного потоку. Однак, вони вимагали значного планування та трудомісткого аналізу, і їх не можна було проаналізувати в режимі реального часу. Одне з перших досліджень, про яке повідомляється в літературі, було опубліковане в 1928 р. Це було аерофотозніманням щільності руху по шосе Балтімор - Вашингтон. Аерофотознімки були проведені на початку 1960-х років у кількох містах США і привели до розробки контурних карт щільності транспортного потоку [25].

Техніка підрахунку вхід-вихід – це досить простий підхід у концепції, при якому підрахунок проводиться за кількістю транспортних засобів вздовж проїжджої частини між двома підрахунковими постами, а з часом кількість транспортних засобів, що в'їжджають в секцію, постійно додається та кількість транспортних засобів, що виїжджають із секції, постійно віднімаються від початкового підрахунку. Проблема цього підходу полягає в тому, що щільність перетину обчислюється на основі різниці між двома великими числами (кількість вхідних та вихідних даних), і помилки детектора (навіть незначні) не можна допускати без частої повторної ініціалізації [26]. Унікальний алгоритм підрахунку вхід-вихід для визначення щільності був розроблений адміністрацією порту Нью-Йорка в 1960-х роках в тунелях Лінкольна та Голландії. Подібна технологія була виконана за допомогою автоматичних приладів Metro Count на початку та в кінці ділянки дороги [27].

Третім методом є обчислення щільності за вимірюванням швидкості та витрат часу. Для цього методу потрібні два детектори швидкості, або два близько розташовані детектори з програмним забезпеченням для перетворення часу слідування між детекторами. Однією з проблем цього підходу є те, що він використовує технічну швидкість на ділянці замість середньої швидкості [26].

Найзначніший прогрес у вимірі та аналізі щільності відбувся завдяки розробці детекторів типу присутності та обробці сигнальних імпульсів для обчислення відсоткової заповнюваності на початку 1960-х років. Зайнятість визначається як частка часу, коли детектор «зайняв» або охопив транспортним засобом у

визначений проміжок часу. Довжини середнього транспортного засобу та детектора необхідні для обчислення зайнятості [28]. Широке використання детекторів типу присутності та обчислення відсотків заповнюваності призвело до численних нових застосувань.

Широке застосування мала індуктивна петля, вмонтована в асфальтобетон, що використовується для вимірювання інтенсивності потоку. Погода та освітленість, я показала практика не впливають на неї. Проте, вона вимагає високих витрат на встановлення та обслуговування. Для подолання цього обмеження в системах моніторингу дорожнього руху, було далі застосовано відстеження транспортних засобів з використанням методів обробки зображень, що дає параметри руху, включаючи інтенсивність, швидкість, щільність, класифікацію транспортних засобів та виявлення аварій [29].

У наш час виявлення та відстеження рухомих об'єктів стають все більш важливими для інженерів дорожнього руху. Незважаючи на те, що всі детекторні технології та окремі пристрої мають певні обмеження та можливості, лише мікрохвильовий радар, активний інфрачервоний діапазон та системи обробки відеозображень здатні підтримувати додатки з декількома смугами та зонами виявлення. Порівняно з усіма іншими технологіями, системи обробки відеозображень вважається найкращою з точки зору встановлення, обслуговування та майбутнього оновлення. Більше того, ця технологія дозволяє користувачам візуально перевіряти результати, переглядаючи раніше записані відео [30].

Система обробки відеозображень вимагає вищого положення монтажної камери, що забезпечує кращий кут і ширший огляд смуг на дорозі. Менша висота кріплення не забезпечить ефективних зображень, оскільки деякі транспортні засоби можуть ховатися за іншими. У цьому випадку обробка відеозображень розпізнає автомобілі, що перекриваються, як одиничні об'єкти. Існує також недолік щодо точності результатів системи обробки відеозображень при обробці відеозображень із зміною смуги руху, зміною освітленості, тінями, вібрацією через вітер чи вантажівками, які закривають повний огляд транспортних засобів [29, 30].

У глобальної системи позиціонування (GPS) приймачі використовуються в багатьох додатках для вимірювання швидкості руху і інших параметрів позиціонування. В одному з цих додатків польові вимірювання використовувались для аналізу похибки розташування рухомих GPS-приймачів. Встановлено, що помилка варіюється від 2 м., на відкритій площі і до 15 м., на широких вулицях з чотирма поверховими будинками по обидва боки. Помилка розташування була проаналізована, як поздовжні та поперечні помилки позиціонування. Подібне

дослідження було проведене за допомогою смартфонів для вимірювання швидкості руху автомобіля. Швидкість, визначена за допомогою смартфонів, була підтверджена за допомогою радіолокаційних вимірювань і складає достатньої точності [31].

Розвиток обчислювальних технологій, бездротового телекомунікаційного зв'язку, зондування та транспортних технологій розширює можливості ІТС. Затори сьогодні є однією з найважливіших проблем, особливо у найзначніших містах. Затори збільшують час пересування, забруднення повітря та споживання палива, погіршують транспортну інфраструктуру, емоційно стомлюють водіїв [32, 33].

Традиційно, щільність транспортних засобів використовується як один із ключових параметрів для оцінки стану дорожнього руху. Загалом висока щільність пов'язана з перенасиченим рухом транспорту. Тим не менше, в міських умовах щільність транспортного потоку зазвичай змінюється залежно від часу доби та території. Отже, отримання точної інформації про щільність руху має вирішальне значення для кращого застосування стратегій запобігання заторів, щоб зменшити забруднення та поліпшити рух транспорту [26, 28, 32].

Бездротові технології роблять можливим розвиток нових додатків та послуг у транспортних технологіях, оскільки вони забезпечують мобільний зв'язок між транспортними засобами, а також зв'язок між транспортними засобами та вузлами інфраструктури. Зазвичай комунікації створені для передачі невеликих повідомлень, в основному орієнтованих на підвищення безпеки руху [26, 28, 32].

Розвиток нових технологій бездротового зв'язку починає стимулювати зміни в рамках ІТС. Це призводить до зростаючого інтересу і розробки широкого спектру застосувань, заснованих на комунікації між транспортними засобами за рахунок взаємної передачі потрібної інформації. Завдяки internet між бортовими підрозділами в транспортних засобах та придорожніми блоками, розташованими вздовж транспортної інфраструктури, водії своєчасно інформуються про майбутню дорожню ситуацію, щоб вони могли вжити необхідних заходів для уникнення можливих аварій. Таким чином, internet сприяє зменшенню заторів та покращенню комфорту водія [33]. Більше того, розробка нових технологій дозволяє водіям висувати автомобіль з основного виду транспорту як новий життєвий простір. По-перше, в наші дні користувачі транспортного засобу дуже зацікавлені в розвагах (наприклад, перегляді потокового відео, користування соціальними мережами чи месенджерами) та використанні різної інформації для зручності та комфорту. У зв'язку з цим підвищується інтерес, щодо безпеки руху під час користування internet [34–36].

Оцінка стану дорожнього руху в режимі реального часу стає все більш потрібною після впровадження передових технологій, таких як технології підключених транспортних засобів до internet. Сьогодні дослідження всіх науковців направлені на поліпшення безпеки руху шляхом потенційного зменшення людських помилок, зменшення заторів, пропонування альтернативних маршрутів, зменшення викидів шкідливих речовин автомобілів та споживання палива [26]. В даний час проведення досліджень з обмеженими даними про транспортні потоки є проблемою. Застосування сучасних ІТС допомагає вирішити цю проблему [28].

Розробка технологій зондування автомобілів та концепція "Інтернету речей" дають багато можливостей для більш точного вимірювання щільності руху. Оцінка щільності руху за допомогою зондів, обладнаних датчиками, стає цінним інструментом у дослідженнях і на практиці. Це стає очевидним, якщо врахувати той факт, що сучасні транспортні засоби зараз оснащені вдосконаленими датчиками. Цими датчиками можуть бути камери, лідари та радары, які спочатку були встановлені для вдосконалених систем допомоги водієві (ADAS). Кількість транспортних засобів, оснащених цими вдосконаленими функціональними можливостями суттєво збільшиться найближчим часом, зокрема з появою автономних транспортних засобів. Побічною перевагою цих технологічних досягнень є те, що тепер ми можемо мати достатню кількість транспортних засобів, що рухаються по дорозі в будь-який момент часу, щоб отримати велику кількість даних про рух, які потім можна використати, щоб отримати більш ефективні заходи щодо підвищення безпеки руху [37–40].

Основна функціональність автономних транспортних засобів включає в себе різноманітне зондування (GPS, радары та камери) та обчислювальні блоки, які збирають та обробляють траєкторії виявлених транспортних засобів. За таких умов під час електронної взаємодії, автономні транспортні засоби будуть збирати інформацію одне від одного. На сьогодні автономні транспортні засоби вже розроблені деякими компаніями. Запропоновані рішення для комп'ютерного зору з використанням алгоритмів глибокого навчання для виявлення та відстеження світлофорів. Багато автономних транспортних засобів використовують алгоритми штучного інтелекту для виявлення об'єктів. Алгоритми, що використовуються на цих транспортних засобах, включають нейронні мережі [37, 41]. Вони використовуються для виявлення дорожніх знаків, пішоходів, транспортних засобів та інших об'єктів транспортної інфраструктури.

У роботі [42] автори запропонували рішення для класифікації пішоходів, велосипедів, мотоциклів та транспортних засобів. Було проведено кілька тестів для

навчання алгоритму, що досягає точності 89,53 %. Була запропонована система класифікації автомобілів, пішоходів, водіїв та велосипедистів, що досягає 90 % рівня точності. В роботі були використані алгоритми для виявлення зображень.

Завдяки досягненню автономних транспортних засобів, що використовують ці алгоритми, інфраструктура руху у великих міських центрах також змінюється. Підходи для покращення міського руху включають інвестиції в інтелектуальні світлофори для зменшення дорожніх заторів та дорожньо-транспортних пригод [43, 44]. Деякі з цих світлофорів вважаються розумними через використання передових алгоритмів, зйомки зображень або включення датчиків.

Однією з найбільш важливих складових ІТС є точність отримання інформації про дорожній рух, як інтенсивність, швидкість та щільність руху. Ці дані потрібні, щоб допомогти прийняти необхідні рішення. Кількість транспортних засобів та швидкість руху протягом певного періоду в дорожніх мережах зазвичай використовуються як механізм ідентифікації стану дорожнього руху та заторів. Ручний підрахунок транспортних засобів, який широко досліджували в роботі [45] дійшов висновку, що підхід може бути ефективним, за винятком класифікації транспортних засобів, які можуть бути зіпсовані з деякими помилками. Автоматичний підрахунок транспортних засобів використовує різні комп'ютерні програмні та апаратні засоби для підрахунку кількості транспортних засобів, які рухаються по дорозі. Система базується на апаратному забезпеченні збору даних та алгоритмі, який обробляє отримані дані з метою вилучення з неї необхідної інформації. Такі параметри, як точність вимірювальних приладів, режим установки, споживання енергії, вартість монтажу та обслуговування, вплив навколишнього середовища на продуктивність їх праці ставлять виклики перед наукою.

Дослідження сенсорних пристроїв та вдосконалення пропонуються щодня, наприклад, вдосконалена конструкція індуктивного петлевого детектора представлена в роботі [46]. Ультразвуковий датчик стає популярною методикою зондування для збору даних про дорожній рух, ця робота зосереджена на тому, щоб допомогти визначити умови дорожнього руху.

Використання ультразвукових приладів для виявлення транспортних засобів не є новим у транспортній галузі. Ця техніка була використана для виявлення присутності та відсутності автомобілів, щоб допомогти прийняти необхідні рішення. Автори роботи [47, 48] запропонували використовувати ультразвуковий детектор для ідентифікації стану паркувальних місць в системі інтелектуального паркування. Ультразвукові датчики були встановлені над усіма паркувальними

місцями на спеціальних місцях для паркування. Присутність транспортного засобу в слоті було виявлено за зменшеною відстанню, зареєстрованою ультразвуковим датчиком. За відсутності транспортного засобу заздалегідь визначена відстань, яка є відстанню між підлогою та датчиком, реєструється пристроєм. Компонент обробки системи вказує на присутність транспортного засобу, коли відстань зменшується менше 89% від заданої відстані, рис. 3.1–3.2.



Рисунок 3.1 – Система ультразвукових датчиків для визначення зайнятості паркувального місця [47]

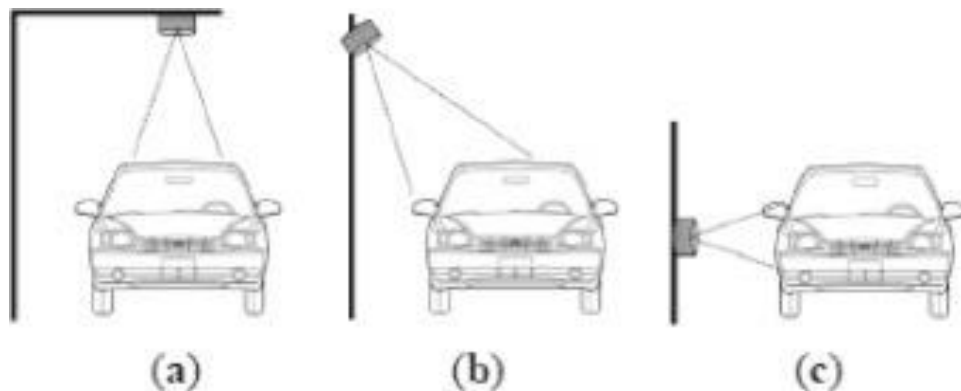


Рисунок 3.2 – Система ультразвукових датчиків для визначення зайнятості паркувального місця при різному розташуванні [48]

Ультразвукові датчики на рис. 3.3 були встановлені горизонтально, і відстань вимірювали, щоб визначити, чи знаходиться транспортний засіб у певній смузі руху. Це було зроблено з використанням заздалегідь визначених відстаней. Встановлення датчиків уздовж однієї смуги може призвести до неправильного підрахунку транспортних засобів. Отже, конструкція була покращена за допомогою кріплення датчиків по обидва боки дороги та відповідних алгоритмів для ідентифікації одиночного або багаторазового руху автомобіля по ділянці.

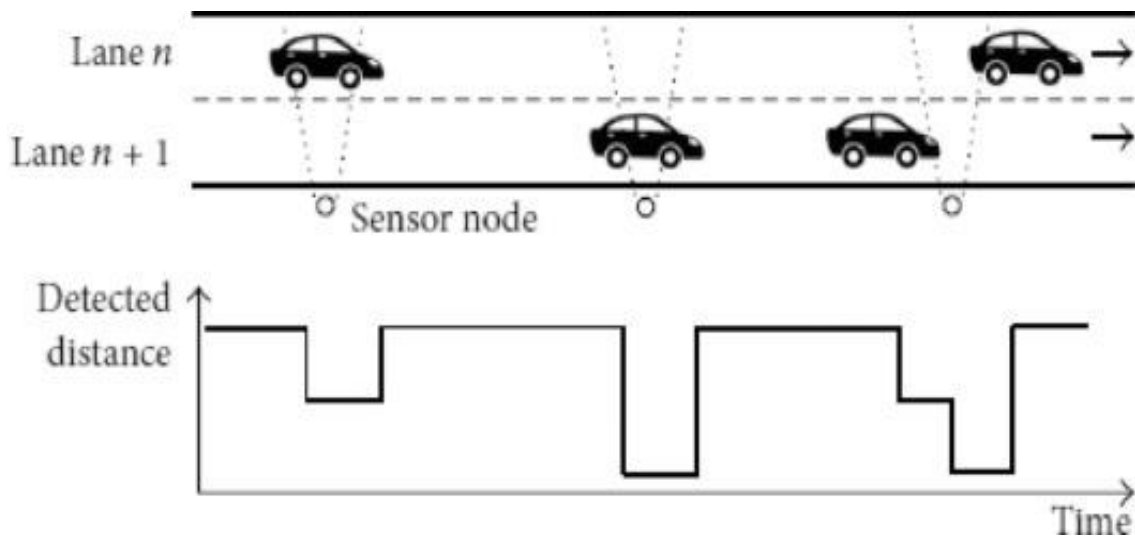


Рисунок 3.3 – Виявлення транспортного засобу за допомогою ультразвукових датчиків [48] .

Прогнозування дорожніх заторів за допомогою ультразвукових датчиків також можливе [49]. У роботі ультразвукові датчики використовуються для оцінки швидкості руху окремих автомобілів, інтенсивності транспортного потоку та рівня завантаження вулиці рухом. Два датчики були встановлені горизонтально на відстані 5 м. Швидкість транспортного засобу визначається шляхом знаходження різниці в часі між тим, коли перший датчик визначає перешкоду і швидкістю другого датчика. Оскільки відстань між двома датчиками фіксована (5 м), швидкість об'єкта можна точно визначити.

Таким чином застосування сучасних підходів щодо системи збору та обробки інформації в інтелектуальних транспортних системах є перспективним напрямом дослідження.

Затори стали серйозною проблемою майже у всіх сучасних мегаполісах через збільшення використання транспортних засобів, урбанізацію та збільшення населення. Затори знижують ефективність транспортної інфраструктури та збільшують час руху, забруднення повітря та споживання палива, що в свою чергу призводить до різних соціальних та економічних проблем [26, 28]. Затори в міських мережах є давньою і навіть зростаючою проблемою сучасного суспільства. Багато вдосконалених стратегій управління дорожнім рухом, таких як управління сигналами світлофорів та перехоплення транспортних засобів, було запроваджено для зменшення заторів та покращення ефективності роботи мережі в системах управління дорожнім рухом. Для управління сигналами світлофорів в багатьох містах світу широко застосовуються методи оптимізації циклу світлофорного регулювання [26] та адаптивна система автоматизованого управління дорожнім рухом для досягнення менших затримок транспортних засобів та зменшення дорожніх заторів. Також сьогодні стрімко розвиваються технології зміни маршрутів з використанням методів перенаправлення транспортних потоків на менш завантажені вулиці рухом [26, 28].

Сьогодні неможливо реалізувати установку на індивідуальних авто дорогого устаткування для керування дорожнім рухом (ДР). Тому, використовуються тільки системи технічних засобів на дорогах. Тобто, параметри транспортних потоків визначаються за допомогою детекторів, розташованих на дорозі. Ця інформація обробляється й використовується для керування сигналами світлофорів і знаками. У такий спосіб забезпечуються вимоги до ДР [26, 28].

Основні різновиди керування ДР:

Керування сигналами світлофорів – це основний елемент системи керування ДР. У розвинених країнах використовуються всі основні методи керування в таких системах:

- локальне керування, при якому цикл роботи світлофора міняється на основі інтенсивності ДР на підходах до перехрестя;
- магістральне керування, при якому зрушення фаз сигналів світлофорів на наступних перехрестях визначаються шляхом порівняння інтенсивності ДР в обох напрямках;
- мережне керування, при якому сигнали світлофорів в 2-х мірній дорожній мережі керуються централізовано відповідно до умов руху на всіх перехрестях мережі.

Рекомендації швидкості руху за допомогою керованих вказівників – зазвичай використовується разом із системами керування світлофорами. Рекомендована швидкість вибирається й відображається на вказівниках для водіїв таким чином, щоб автомобілі як можна рідше зустрічали при русі червоні сигнали світлофорів. Цим скорочуються затримки руху (розгін, гальмування), витрати пального, знос автомобілів, втома водіїв. Крім того, використовується обмеження швидкості руху на ділянках доріг для інформування водіїв про комфортні швидкості у випадку ДТП, заторів, ожеледі, туману і т.д.

Реверсування використовується на багатосмугових дорогах ранком і ввечері (у години «пік») для призначення більшого числа смуг для напрямків з переважними інтенсивностями ДР. Для цього використовуються керовані знаки, вказівники, розмітка [28].

Обмеження доступу в райони затору. Затори зазвичай виникають у місцях підвищеної щільності: тунелі, мости, міські швидкісні дороги. Існує оптимальна швидкість, щільність, що забезпечують максимальну інтенсивність. Якщо транспортний попит перевищує максимальну інтенсивність, знижується швидкість руху, збільшується щільність транспортного потоку, виникає заторовий стан. Тому, часто використовується метод обмеження в'їзду в район затору за допомогою сигналів світлофорів. На деяких міських швидкісних дорогах, що мають велику кількість в'їздів, використовується система, що інформує водіїв про можливість використання тих або інших в'їздів залежно від часу доби. Така ж система дозволяє швидко звільнити дорогу у випадку ДТП або затору [51].

Рекомендації й призначення маршрутів руху. Цей метод полягає або в примусі водіїв прийняти об'їзний маршрут руху, або в рекомендації їм найкращого маршруту до точки призначення. Для цих цілей використовуються спеціальні керовані дорожні знаки. На міських швидкісних дорогах за допомогою даного методу можна сповіщати водіїв про найкращу точку з'їзду з дороги показання в заданий пункт дорожньої мережі відповідно до дійсної або прогнозованої ситуації на місцевих проїздах [53, 54].

Інформування водіїв про умови руху, у великих містах, забезпечує непрямий керуючий вплив шляхом вибору підходящих маршрутів руху й, таким чином, розподілу автомобілів по дорожній мережі. Для цього необхідно збирати інформацію про умови руху в різних точках мережі й передавати її водіям. У США це роблять по радіо на спеціально виділених діапазонах частот. Дотепер ця інформація збиралася візуально на основі експертних оцінок наявності затору й поширювалася по радіо. Однак такий підхід не забезпечує необхідну точність і

швидкість збору інформації. У цей час для цього використовуються детектори транспорту, бортові комп'ютери, засоби супутникового зв'язку, радіопередавачі, розташовані на узбіччях доріг [28].

Автоматизовані системи керування найбільш перспективні для розвитку технологій ІТС [26, 28, 50, 52].

Найпростіша система має тільки одну програму координації й не відслідковує зміну умов руху. Потім з'явилися багатопрограмні системи, у яких використовувалися кілька програм – координації, які мінялися або вручну, або залежно від часу доби.

Сучасні системи засновані на адаптивному керуванні, коли програма координації визначається відповідно до фактичних умов руху в реальному масштабі часу, з використанням ЕОМ.

Усі світлофорні об'єкти повинні працювати з однаковою тривалістю світлофорного циклу. Переваги координованого керування:

- підвищується швидкість, скорочуються затримки;
- транспортний потік стає більш рівномірним за рахунок утворення «пачок» автомобілів;
- стабілізується швидкість, скорочуються ДТП;
- підвищується дисциплінованість водіїв і пішоходів.

Математичні моделі, використовувані для розрахунків програм координації, є основою комп'ютерних програм (графічні методи менш точні й більш трудомісткі) [53].

Програма для ЕОМ розраховує оптимальне значення стрічки часу в межах заданого діапазону швидкостей для різних значень часу циклу світлофорного регулювання.

Вихідні дані – число регульованих перехресть, кількість варіантів часу циклу, 3 значення швидкості (бажана, максимальна й мінімальна); частка (у %) червоного сигналу в циклі на кожному конкретному перетині; відстань між регульованими перехрестями [54].

Програма розраховує: оптимальну ширину стрічки часу у встановленому діапазоні швидкостей і для будь-якого значення часу циклу; набір зрушень фаз; перелік критичних (ключових) перехресть, що визначають границі стрічки часу.

Керування рухом із предсигналами й вказівниками швидкості. Пропускна здатність перехрестя визначається величиною втраченого часу (розгін при русі з місця). Якщо всі автомобілі зможуть перетнути перехрестя без зупинок, максимальна інтенсивність підвищиться і знизиться витрата палива, забруднення

повітря і т.д. Для цього використовуються предсигнали, вказівники швидкості і ін. Предсигнали встановлюються в декількох десятках метрів від стоп-лінії перехрестя й призначені для забезпечення безупинного руху через перехрестя. Зрушення між сигналами світлофора й предсигналами встановлюють рівним втраченому часу з метою регулювання. У цьому випадку втрачений час на основному перехресті відсутній і максимальна інтенсивність збільшується.

Проблеми застосування предсигналів [28]:

- зниження БР на основному перехресті;
- зниження ефективності ДР через затримки за межами перехрестя.

Разом з тим застосування предсигналів може призвести до істотного поліпшення умов руху.

Вказівники швидкості забезпечують прибуття автомобілів до перехрестя в період дії дозволяючого сигналу, шляхом інформування водіїв про необхідну швидкість руху. Перемикання індикаторів швидкості на вказівникові відповідно до роботи світлофорів утворює так звану «транспортну воронку». У цьому випадку, потік перетворюється з рівномірного в той, що складається з окремих груп автомобілів. Така система забезпечує скорочення затримок руху, підвищенню максимальної інтенсивності перехрестя. Розділяючи транспортний потік на окремі групи, така система підвищує безпеку пішохідного руху через перехрестя. Однак є істотні труднощі в реалізації подібних систем у центрі міста, тому що відстань між сусідніми перехрестями повинна бути в кілька сотень метрів. Застосування такої системи в Дюссельдорфі підвищило % автомобілів, що проходять перехрестя без зупинок з 6 % до 70 % [55].

Мережне керування [26, 28, 53].

В 2-х мірних мережах проста логіка керування (як у випадку магістрального керування) часто непридатна. Існує два методи керування (визначення керуючих параметрів) для світлофорної сигналізації:

1. Вибір програм керування – вибирається одна із заздалегідь приготовлених програм (набір параметрів) відповідно до змінених або передвіщеними параметрами умов руху;

2. Генерація програм – оптимальні параметри обчислюються в реальному масштабі часу згідно з вимірним параметром руху. При магістральному керуванні частіше застосовується вибір програм. При мережному керуванні переважний метод генерації програм. Під мережею об'єктів мають на увазі кілька магістралей, що мають загальні перехрестя. Розрізняють розімкнуті й замкнені мережі світлофорних об'єктів. Розімкнута мережа світлофорних об'єктів – має тільки одне загальне перехрестя.

У найбільш загальному випадку тривалість циклу для конкретної мережі світлофорів установлюється залежно від умов руху на загальному перехресті. Програми координації для кожного маршруту розраховуються незалежно.

Замкнена мережа світлофорних об'єктів – містить два або більше перехресть. Світлофорні об'єкти, що утворюють замкнену мережу, повинні мати однакову тривалість часу циклу, обумовлену умовами руху на «критичному» перехресті, тобто на перехресті з найбільшою тривалістю циклу. Після визначення часу циклу проводяться розрахунки програм координації окремо для кожного маршруту й проводиться коректування зрушень фаз [53].

Отже розвиток технологій управління транспортними потоками може знизити завантаження існуючих транспортних мереж та підвищити безпеку дорожнього руху.

3.2. Інтелектуальні системи безпеки руху

3.2. Intelligent traffic safety systems

Контроль та регулювання швидкості руху

Обмеження швидкості повинні вводитися тільки в тих випадках, коли вони будуть сприяти поліпшенню умов і БР. Якщо водії будуть вважати, що конкретні обмеження швидкості не виправдані, ці обмеження не будуть дотримуватися, вони не ефективні. З готовністю будуть сприйматися тільки виправдані обмеження швидкості. Водій веде автомобіль зі швидкістю, відповідно до стану дороги, яка не обов'язково відповідає швидкості, що пропонується знаками. Тому, невиправдані обмеження швидкості будуть порушуватися більшістю водіїв [26, 28, 53, 54, 55].

Перевищення швидкості часто вважають однією з головних причин ДТП, насправді причина ДТП – у невідповідності швидкості дорожнім умовам. Згідно статистики, обмеження швидкості в містах, як правило, приводить до скорочення ДТП із важкими наслідками, людськими жертвами. При цьому число ДТП із легкими пораненнями скорочується незначно [56].

Імовірність ДТП залежить від відхилення швидкості автомобіля від швидкості потоку. Чим більше відхилення від швидкості потоку, тем вище імовірність ДТП. Так в Англії, де швидкість близько 48 км/год дотримувалась погано, не пройшло помітного збільшення кількості ДТП після збільшення ліміту швидкості до 64 км/год .

Швидкість, що забезпечує БР від багатьох умов, від конкретних ситуацій. Її можна рекомендувати водіям за допомогою встановлення спеціальних табличок. Такі таблички часто встановлюють разом з дорожніми знаками (небезпечні повороти, обмежена видимість, погане покриття).

На значення безпечної швидкості впливають погодні умови: сніг, лід, туман, дощ.

Види обмеження швидкості:

1. Встановлені обмеження – мають силу закону;
2. Рекомендовані обмеження – порушення яких не спричиняє відповідальності.

Існують і обмеження мінімальної швидкості (на швидкості на автомагістралях США – 64 км/год).

Рекомендовані обмеження швидкості вводяться за допомогою табличок. Важливе значення має послідовне встановлення табличок із вказівкою рекомендованої швидкості перед небезпечними поворотами (тому, що водії можуть послабити увагу перед конкретним поворотом і вважати, що можуть пройти поворот з більшою швидкістю).

У багатьох штатах США встановлюють більші обмеження швидкості при русі в темний час доби. Це пов'язане зі скороченням відстані видимості. У той же час у багатьох країнах додаткових обмежень швидкості вночі не застосовують. Це справа практики, одноманітності немає.

Застосовуються також обмеження швидкості залежно від типу транспортних засобів. Різні обмеження можуть передбачатися: – для легкових автомобілів, вантажних, автобусів, буксированих транспортних засобів.

Обмеження швидкості за несприятливих погодних умов. Водій зобов'язаний регулювати швидкість залежно від конкретних дорожніх умов. За несприятливих погодних умов у деяких випадках вводяться більш жорсткі обмеження швидкості на окремих ділянках.

Застосовується також обмеження швидкості по смугах руху на швидкісних магістралях. Більш високу межу швидкості встановлюють на крайніх лівих смугах. Введення різних обмежень, для різних смуг не має ніякого ефекту в годину «пік». В інший час доби – має незначний, позитивний ефект.

У більшості країн законодавчо обмежують швидкість руху біля шкіл.

Контроль над дотриманням швидкості. Для цього застосовуються різні методи:

- радарні установки;
- переслідування порушника на автомобілі;
- відеокамера на контрольній ділянці;

- спостереження з вертольота чи дрона за проїздом контрольної ділянки.

Ступінь контролю над швидкістю різна на різних ділянках доріг. Деякі ділянки доріг одержали назву «швидкісні пастки» (де контроль надзвичайно суворий). Контроль повинен бути чітким, суворим скрізь. Тому, назва «швидкісні пастки» слухна для ділянок, де суворий контроль поєднується з невиправданим обмеженням максимальної швидкості.

Дослідження впливу ступені контролю на число ДТП і на швидкість показало наступне:

- ступінь контролю значно впливає на відмінність у швидкостях руху, тобто розбіжність у швидкостях окремих автомобілів суттєво зменшується;
- % водіїв, що перевищують максимальну швидкість змінюється несуттєво;
- ступінь контролю практично не відбивається на кількості ДТП.

Під оптимізацією швидкісного режиму слід розуміти вплив на швидкості транспортних засобів у потоці для підвищення безпеки руху або пропускну здатності. Таким чином, залежно від конкретних умов завдання оптимізації може полягати в зниженні або підвищенні існуючого швидкісного режиму. Рівномірність швидкості руху кожного окремого автомобіля й транспортного потоку в цілому скорочує внутрішні перешкоди в ньому, є важливою умовою безпеки руху й, таким чином, входить до завдання оптимізації швидкісного режиму. У містах це завдання в значній мірі вирішується шляхом координації світлофорного регулювання й, зокрема, впровадження АСУ ДР [28]. Оптимізація швидкості деякою мірою забезпечується при вирівнюванні складу потоку на дорозі або смузі руху. Це ще раз підтверджує, що багато методичних напрямків організації руху тісно зв'язано один з одним.

Залежно від умов руху, для підвищення пропускну здатності дороги може бути необхідно як обмеження, так і підвищення швидкості. Найбільше значення пропускну здатності дороги досягається при швидкостях 50–55 км/год. Очевидно, що коли стан дороги не дозволяє забезпечити таку швидкість (наприклад, на залізничному переїзді через несправність настилу), заходом її оптимізації буде усунення цього недоліку. Аналогічним прикладом є ліквідація ожеледі на дорозі, при якій швидкість різко падає й знижується пропускна здатність. Підвищення швидкості транспортного потоку може бути також досягнуте збільшенням ширини проїзної частини й узбіччя до оптимальних розмірів (на звужених ділянках). Протилежні заходи можуть знадобитися на швидкісній дорозі при настанні години пік, коли звичайна швидкість для цієї дороги 100–120 км/год не може забезпечити бажаної пропускну здатності. У цьому випадку примусове тимчасове обмеження

швидкості до 60–70 км/год дозволяє помітно підвищити пропускну здатність дороги за рахунок безпечного підвищення щільності транспортного потоку [56].

Таким чином, завдання регламентації швидкості з метою підвищення безпеки руху можуть бути розділені на два напрямки. Перш практичне поширення, що одержало в організації руху широке, – це обмеження швидкості в найнебезпечніших для руху місцях або для визначення типів транспортних засобів; друге – регулювання швидкісного режиму для скорочення різниці швидкостей транспортних засобів у потоці. Обмеження швидкості можуть бути постійними й повсюдними або тимчасовими й місцевими. Правила дорожнього руху України так само, як і правила ряду інших країн, передбачають можливість додаткового обмеження максимальної швидкості окремих видів транспортних засобів. Місцеві й звичайно тимчасові обмеження встановлюють на ділянках доріг з небезпечними умовами до усунення цих умов, коли не вдається зробити це відразу. Регулювання швидкості спрямоване на зниження ймовірності ДТП, яка чим вище, чим більше швидкість даного автомобіля відрізняється від середньої швидкості транспортного потоку. Характерно, що найбільш безпечним є рух зі швидкістю, який більше середньої для транспортного потоку на 6–8 км/год. Вирівнюванню швидкісного режиму можуть сприяти як обмеження верхньої межі швидкості на дорозі, так і встановлення мінімальної припустимої швидкості. При існуючому рівні організації руху швидкісний режим обмежують установкою відповідних дорожніх знаків.

Застосування стаціонарних знаків має досить істотний недолік, що полягає в тому, що рівень обмеження не може сильно змінюватися. У результаті для одних умов (наприклад, денний час і суха дорога) обмеження стає невиправдано твердим, а для інших (наприклад, ніч і мокре покриття) недостатнім. Призначення обмеження по найбільш важких умовах не можна вважати задовільним, тому що ці умови в більшості районів за часом значно менш позитивні, чим сприятливі. Отже, такий розв'язок при його виконанні водіями викликає значні невиправдані втрати часу при перевезеннях. Необхідно відзначити, що недоступно взагалі введення надмірно низьких обмежень (нижче 40 км/год). Таке обмеження може бути допущене тільки на короткий час в окремому місці при дійсно небезпечній обстановці (наприклад, при ушкодженні мосту) або тимчасово на ділянці дороги (наприклад, при проведенні поверхневої обробки покриття для додання йому шорсткості, а також у місцях дуже інтенсивного руху пішоходів). При введенні обмеження швидкості на якій-небудь ділянці необхідно враховувати існуючий рівень швидкості на підходах до нього, пам'ятаючи про те, що різкий перепад швидкостей обов'язково створює потенційну небезпеку ДТП. Перспектива

ефективної оптимізації швидкісного режиму особливо на міських магістралях і автомобільних дорогах з високим рівнем завантаження тісно пов'язана з можливістю застосування багатопозиційних керованих дорожніх знаків. З їхньою допомогою можна змінювати межу обмеження залежно від рівня завантаження й метеорологічних умов. Вимогам правил руху й у тому числі знаків, що обмежують швидкість, не підкоряється значна частина водіїв, що захоплюються невинновиправдано швидкою їздою. У зв'язку із цим розроблені методи так званого «заспокоєння руху». Вони доповнюють засоби знакової інформації про обмеження швидкості. Найбільше широко застосовуються фізичні перешкоди, що перешкоджають руху зі швидкістю 20-30 км/год і вище. До них, насамперед, ставляться так звані штучні нерівності, розташовувані поперек проїзної частини. Необхідно підкреслити, що штучні нерівності припустимо застосовувати тільки на проїздах місцевого значення в зоні житлової забудови й де немає руху маршрутних автобусів і тролейбусів. Причому обов'язкова попереджувальна інформація відповідним попереджувачим знаком. На місцевих проїздах використовують звуження проїзної частини й штучні перешкоди, розташування яких примушує водіїв до зигзагоподібної траєкторії руху автомобілів [28].

Штучні нерівності застосовуються на ділянках доріг, де від водія потрібна надзвичайна обережність і де звичайні засоби ОДР (знаки, миготливі червоні ліхтарі) неефективні. «Тремтячі смуги» – це частини смуги із асфальту або пластику, що піднімаються над рівнем проїзної частини, розташовані поперек проїзної частини. Їхня ширина 7,5–15 см, висота 1,5–2 см. Кілька таких смуг викликають тряску автомобіля, попереджаючи водія про небезпеку. Установлюють «тремтячі смуги» у місцях наближення до небезпечних ділянок. Важливе значення має відстань між «тремтячими смугами» і небезпечною ділянкою. Такий засіб не рекомендується використовувати для обмеження швидкості руху [55].

Засоби інформування водіїв про умови руху

Водій автомобіля під час пересування одержує великий обсяг інформації про характер і режими руху. У процесі сприйняття інформації водій повинен не тільки знайти потрібну інформацію, але й переробити, провести аналіз, прийняти відповідне рішення. На підставі ухваленого рішення водій повинен розпочати дії. Увесь процес від сприйняття до виконання дії вимагає певних витрат часу, яких може не вистачити, з урахуванням швидкості зміни шляхово-транспортної ситуації. У цьому випадку водій може здійснити неправильні дії. Перераховані причини є

наслідком психічного стану, стомлення водія, відсутністю або недостатністю досвіду, навичок водіння й ін. Водій під час керування автомобілем повинен зберігати тривалий час оптимальний емоційний стан. За оптимального стану найбільш швидко і якісно протікає процес від сприйняття інформації до здійснення відповідних дій у шляхово-транспортних ситуаціях. Відхилення від оптимального емоційного стану ускладнює процес сприйняття й переробки інформації, збільшує кількість помилкових дій водія [56].

Відстеження очей використовується для оцінки сприйняття водіями дорожніх елементів, а також для розробки стратегії керування автомобілем і запобігання аварій. Час фіксації погляду водія може коливатись від 0,1 до 2,5 секунд в залежності від складності дорожньо-транспортної ситуації та функціонального стану водія. Щодо особливостей зорового сприйняття слід зазначити, що увага водія є складною характеристикою, яка залежить від багатьох факторів. За допомогою eye-tracking можна визначити психічний стан водія [56], який може мати деякі характеристики відповідно до уваги водія, рис. 3.4.

Спокійна увага	<ul style="list-style-type: none"> • зосередження погляду в просторі поблизу очікуваного сигналу, коротких фіксацій мало, моргань
Напружена увага	<ul style="list-style-type: none"> • переважання коротких фіксацій, є особливо тривалі фіксації, пропуски важливих сигналів, відсутність стеження рухів, скорочення кількості моргань
Емоційна напруженість	<ul style="list-style-type: none"> • переважання особливо тривалих і коротких фіксацій
Втома	<ul style="list-style-type: none"> • поява і розвиток стеження рухів, переважання тривалих фіксацій, велика кількість моргань, підвищення порогів сприйняття, пропуски корисних сигналів
Сенсорний голод	<ul style="list-style-type: none"> • велика кількість відстежуючих рухів, тривалих фіксацій, пропуски корисних сигналів
Перевантаження інформацією	<ul style="list-style-type: none"> • велика кількість коротких фіксацій зі значною амплітудою відхилення, скорочення кількості тривалих фіксацій і моргань

Рисунок 3.4 – Характеристики інформаційного навантаження водія

Увесь процес від сприйняття до здійснення дії водія вимагає певних витрат часу, якого найчастіше може не вистачити, якщо врахувати швидкість зміни ДТС. У цьому випадку водій може неправильно діяти в наслідок таких причин [56]:

- недолік (дефіцит) часу на весь процес сприйняття інформації (наприклад, об'єкт виявлений, однак ДТП запобігти не вдалося, тому що не реалізовані інші етапи: переробка інформації, аналіз і т.д.);

- помилки в аналізі вихідної інформації. Наприклад, червоний сигнал покажчика повороту автомобіля прийнятий за сигнал гальмування;

- помилки в проведенні аналізу (наприклад, водій під час наближення до перехрестя думав, що палаючий жовтий сигнал світлофора зміниться на зелений, однак увімкнувся червоний сигнал);

- неправильно ухваленого рішення (наприклад, замість маневру, єдино необхідного в цій ДТС, водій ухвалює рішення негайно гальмувати);

- помилкової дії (наприклад, прийняте правильне рішення провести екстрене гальмування, однак водій помилково натискає на педаль керування подачею палива, збільшуючи тим самим швидкість руху автомобіля).

Найважливіші якості уваги:

- стійкість – здатність утримувати об'єкт сприйняття у свідомості в протязом певного часу;

- концентрація – зосередження уваги на одному тільки об'єкті з одночасним відволіканням від всього іншого;

- обсяг уваги – характеризується кількістю об'єктів, що можуть бути сприйняті одночасно.

- розподілення уваги – здатність утримувати і контролювати у свідомості одночасно кілька виконуваних різних видів діяльності. Людина може розподілити увагу між двома різнорідними видами дій, якщо одне для нього звично (водіння і контроль ДТС).

Процес сприйняття пов'язаний із розумінням сутності об'єктів і явищ.

Закономірності сприйняття:

1. Сприйняття залежать від організації інформації.

2. Знайомство з джерелом інформації збільшує імовірність правильного його сприйняття.

3. Неізолюваність сприйняття – автомобіль у потоці не може сприйматися без обліку тих, що рухаються поруч.

4. Інерційність сприйняття (попередня інформація впливає на сприйняття останньої інформації). Із цією закономірністю зв'язане явище монотонності.

5. «Ефект» після дії. При послідовному сприйнятті об'єктів із більш високим ступенем стимулюючої властивості останнього сприймаються нижче, ніж вони є насправді.

Таким чином, властивості явищ, предметів, ситуацій у ході переробки інформації, інтерпретації й аналізу можуть уявлятися відмінними від факту. Причинами цього є: недолік істотної інформації, надлишок несуттєвої інформації, двозначність інформації, недолік апріорної інформації.

Роль мислення полягає в упорядкуванні, синтезі, процесів відчуття, сприйняття, пам'яті, розуміння. Результат мислення – ухвалення рішення, потім виконання дій. Для водіїв важлива швидкість мислення, широта мислення – здатність передбачати різні наслідки своїх дій. Увага – характеристика психічної діяльності, виражається в зосередженості спрямованості свідомості на визначений об'єкт. Водію необхідно володіти здатністю стежити навіть за тими подіями, що у сформованій ситуації не є визначальними і переключати увагу за необхідності [5].

Дослідження показали, що закруглення в плані на кривих оцінюється водієм з різних відстаней залежно від швидкості руху і радіуса кривої в плані. Чим вище швидкість, тим на більшій відстані водій намагається оцінити заокруглення. Гарна видимість забезпечує безпеку руху. Однак збільшення відстані видимості поверхні дороги й автомобіля після досягнення деяких меж втрачає ефективність. Більш довгі прямі на рівнині спричиняють монотонність у роботі і стають джерелом додаткової небезпеки. Найточніше водії оцінюють відстань до нерухомих об'єктів або переміщуються в тангенціальному напрямку. Рух автомобіля в радіальному напрямку знижує точність оцінки відстані до них, особливо якщо відстань більш ніж 200 м. Важливо відзначити, що водії часто схильні завищувати сприймані відстані [26]. Сприйняття швидкості змінюється залежно від місця подразнення сітківки, від наявності нерухомих об'єктів у полі зору, що виконують роль детекторів руху, від освітленості тощо. Точність визначення режиму руху попутних автомобілів вище. Більш точно оцінюється режим руху вантажних автомобілів. Водії виявляють гальмування лідера, лише починаючи з деякої відстані. Слухові відчуття займають друге місце за значимістю після зорових. Слухове сприйняття залежить від 3-х факторів: джерело звуку; середовище, у якому поширюються звукові хвилі; слуховий аналізатор (сигнали йдуть у нервову систему); інтервал частот, що сприймаються людиною – 16...20 000 Гц. Інтенсивність звуків шумів, їхня частота, дають уявлення про швидкість руху, якість роботи агрегатів і т.д. У

вологодому середовищі звукові хвилі поширюються швидше, ніж у сухому середовищі. Постійно діючий шум впливає на органи слуху, погіршується зорове сприйняття, координацію руху, настає стомлення. У реальних умовах прискорення, що діють на водія, невеликі. Навіть під екстреного гальмування воно складає 0,7..1g. Ці прискорення не викликають великих фізіологічних розладів при великих перевантаженнях, проте загальна кількість таких взаємодій може значно стомити водія. У результаті дії тривалих періодичних прискорень (підйом, спуск, криві) може з'являтися морська хвороба. Прискорення, що діють на водія, поділяються: лінійні (у напрямку руху); радіальні (у поперечному русі радіуса повороту); тривалі. Вібрації теж впливають на організм. Залежить від виду коливань, напрямків. Характеризується амплітудою, частотою. Вібрація може призвести до функціональних порушень: погіршення зорового сприйняття, якості уваги, сповільнюється реакція. Найбільш небезпечними є резонансні коливання, особливо шкідливі вони для водіїв вантажних автомобілів. Резонанс – збіг коливань автомобіля й органів людини (впливає на здоров'я людини) [57].

Основним керуючим елементом в системі дорожнього руху є водії транспортних засобів, які самостійно визначають напрямок і швидкість транспортних засобів в кожен момент руху. Всі інженерні розробки схем і режимів руху доводяться в сучасних умовах до водіїв за допомогою таких технічних засобів, як дорожні знаки, дорожня розмітка, світлофори, інформаційні табло і інші засоби інформації [25, 38, 53, 57].

Чим більш повно і чітко налагоджена інформація водіїв про умови і необхідні режими руху, тим більш точними і безпомилковими є керуючі дії водіїв, а отже, тим більш високий рівень безпеки та ефективності дорожнього руху. Надмірна кількість інформації проте погіршує умови роботи водія. Особливо небезпечним є перенасичення вулично-дорожньої мережі різною яскравою рекламою, яка відволікає увагу водіїв і забирає важливу для нього інформацію про напрямки і режими руху. Зайва концентрація уваги на рекламі несе шкоду безпеці дорожнього руху. Тобто потрібно заборонити встановлювати плакати, транспаранти, афіші, які можуть ускладнити сприйняття технічних засобів організації дорожнього руху або, які створюють відволікаючий вплив на водіїв [53, 55].

Класифікація засобів інформації в дорожньому русі наступна: вулична, позавулична і та, що забезпечується на робочому місці водія.

До вуличної інформації відноситься все, що доводиться до водіїв (а також пішоходів) за допомогою технічних засобів організації руху. У позавуличну інформацію входять друковані видання (газети, журнали), спеціальні карти-схеми

і, інформація по радіо і телебаченню, звернена до учасників дорожнього руху з повідомленнями про типові маршрути пересування, метеоумови, стан доріг, зміни в схемах організації руху і т.і. Інформація на робочому місці водія може складатися з візуальної і звукової, яка забезпечуються різними системами датчиків, що контролюють режим руху, швидкість руху, дистанцію і інші показники руху. Особливе місце займають навігаційні системи, що використовують супутниковий зв'язок. Бортові навігаційні системи дозволяють водію, орієнтуючись по зображенню на дисплеї, вести автомобіль до наміченого пункту по найкоротшому шляху або з найменшою витратою часу.

3.3. Супутникові навігаційні системи на транспорті

3.3. Satellite navigation systems for transport

Супутникова система навігації

Глобальна навігаційна супутникова система (Global Navigation Satellite System – GNSS) включає сузір'я супутників, які обертаються навколо Землі, постійно передаючи сигнали, що дозволяють користувачам визначати своє тривимірне (3D) положення з глобальним покриттям. Основне спостережуване в GNSS – це час, необхідний для проходження сигналу від супутника (передавач) до приймача. Цей час у дорозі, помножений на швидкість світла, забезпечує міру видимої відстані (псевдодіапазон) між ними [58].

Протягом багатьох років єдиною повноцінною GNSS є система розроблена США, що утворює систему глобального позиціонування (Global Positioning System – GPS). Російське GNSS – це супутникова система Glonass, була відновлена до повноцінної роботи в грудні 2011р. Китайська система BeiDou та європейська Galileo зараз в стадії завершення розробки, хоча BeiDou розпочав первинну експлуатаційну службу наприкінці грудня 2011 року. Система Beidou сьогодні перевершує за кількістю супутників систему GPS, а також системи навігації Glonass і Galileo. За оцінками експертів, її розгортання обійшлося Китаю в \$ 10 млрд. Після завершення формування Beidou можна буде визначати з її допомогою розташування в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні з точністю до 10 см (для порівняння у GPS цей показник дорівнює 30 см). Крім того, створення своєї навігаційної супутникової системи «BeiDou» (BDS) зайняло у Китаю 26 років. Перший етап створення системи стартував в 1994 році. Згідно триетапної стратегії, система «BeiDou» буде забезпечувати навігаційними послугами як користувачів

Китаю, так і жителів Азіатсько-Тихоокеанського регіону і інших країн. Планується, що вона стане четвертою найбільшою в світі глобальною навігаційною системою поряд з Американською GPS, Російською ГЛОНАСС і Європейською ГАЛІЛЕО [59].

Принцип позиціонування заснований на вирішенні елементарної геометричної задачі, що включає відстані (діапазони) користувача до набору в принаймні чотири супутники GNSS з відомими координатами. Ці діапазони і координати супутника визначаються приймачем користувача за допомогою сигналів та навігаційних даних, що передаються супутниками. Координати можна обчислити з точністю до декількох метрів. Однак позиціонування на сантиметровому рівні, можна теж досягти за допомогою більш досконалої техніки [59].

Так наприклад на рис. 3.5 зображено зміну координат залежно від точності позиціонування для різних приймачів [60].

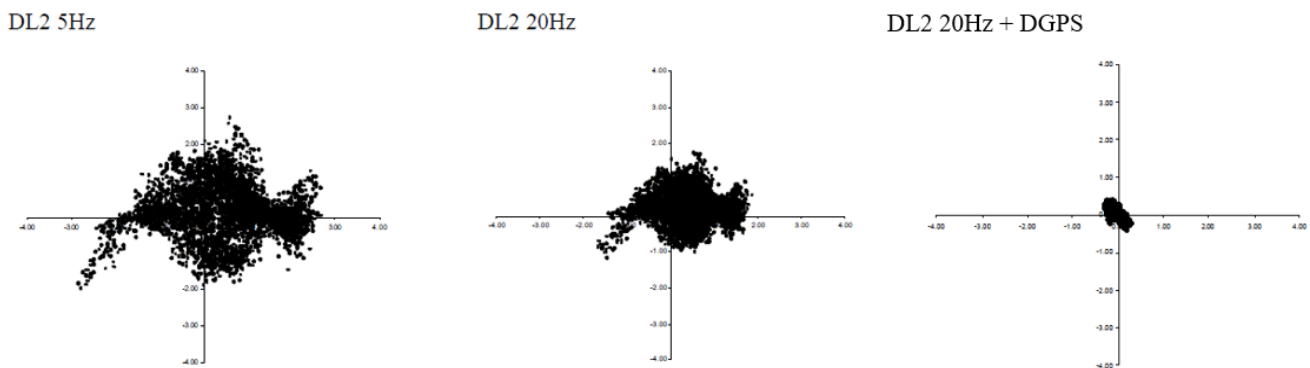


Рисунок 3.5 – Точність позиціонування (різні приймачі GPS), [60]

Саме використання модулю DGPS (забезпечує корегування сигналу з використанням базової станції) дозволяє отримати точність позиціонування до декількох сантиметрів (рис. 3.5) [61]. На рис. 3.6 представлено схему роботи системи DGPS, яка забезпечує коригування супутникового сигналу.

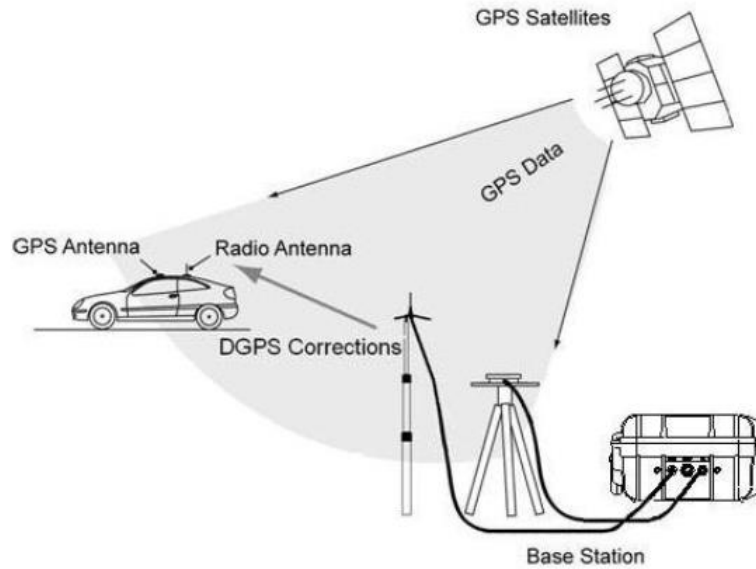


Рисунок 3.6 – Схема роботи системи корегування супутникового сигналу DGPS [61]

Принципи позиціонування та точність, на основі сигналу GNSS однакові для всіх видів супутникових систем. Основи полягають у вимірюванні відстані між супутником із відомим положенням та приймачем (рис. 3.7), положення якого слід визначити [62].

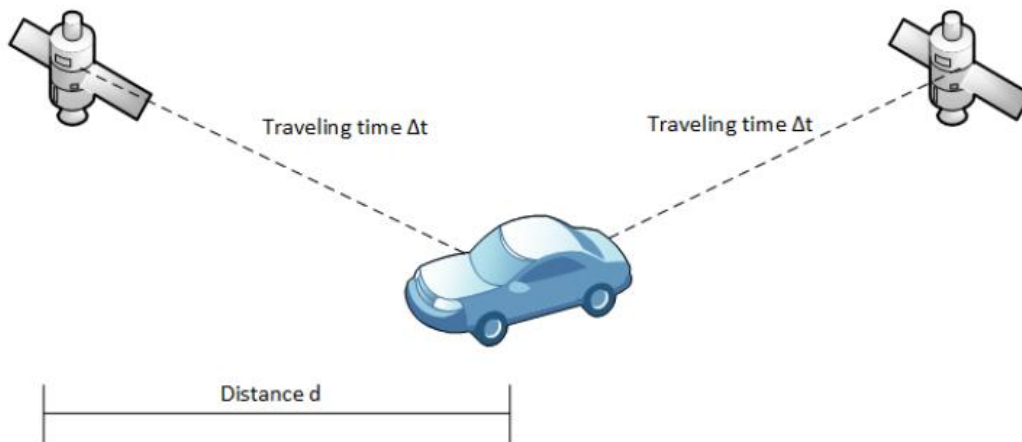


Рисунок 3.7 – Принципи позиціонування транспортного засобу [62]

В основному GNSS складається з трьох основних сегментів: космічного сегмента, який включає супутники; контрольний сегмент (наземний сегмент), який відповідає за належну роботу системи і сегмент користувача, який включає GNSS

приймачі, що забезпечують позиціонування, швидкість і точний хронометраж для користувачів [58].

Основні функції космічного сегмента – це генерація та передача коду та фазових сигналів, а також зберігання та трансляція навігаційного потоку, завантаженого контрольним сегментом. Ці передачі даних контролюються високоточними атомними годинниками на борту супутників. Космічні сегменти GNSS утворені сузір'ями супутників з достатньою кількістю, щоб користувачі мали принаймні чотири супутники в будь-який час одночасно з будь-якої точки на поверхні Землі. Контрольний сегмент (наземний сегмент) є відповідальним за належну роботу GNSS. Його основні функції полягають в тому, щоб контролювати і підтримувати статус конфігурації сузір'я супутника; прогнозувати ефемериди (таблиці координат) та здвиг часу супутникового годинника. Користувацький сегмент складається з приймачів GNSS. Їх основною функцією є отримання сигналів GNSS, визначення псевдодіапазонів та розрахунок координат з застосуванням точного супутникового часу UTS [58]. Основними елементами приймача GNSS є: GPS антена з попереднім підсиленням, радіочастотна секція, мікропроцесор, генератор проміжної точності, джерело живлення, модуль пам'яті для зберігання даних та інтерфейс. Розраховане положення відноситься до центру розташування антени приймача GNSS [58].

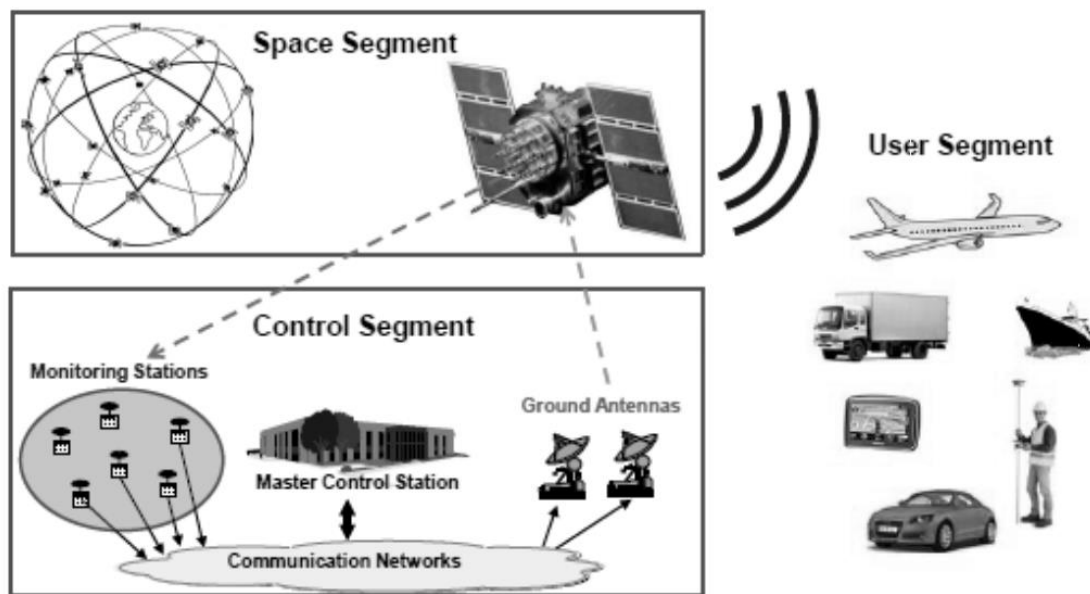


Рисунок 3.8 – Архітектура GNSS, [59]

Система глобального позиціонування базує свій принцип роботи на спостереженнях за конкретними електромагнітними сигналами, що надходять від сузір'я штучних супутників. Через спостереження за цими сигналами від приймача

станції (стоячи або в русі), можна отримати положення станції в декартовій геоцентричній системі відліку. Система GPS працює належним чином з урахуванням трьох компонентів:

- 1) сузір'я супутників, які передають сигнали;
- 2) центри управління на землі;
- 3) пристрої які, здатні інтерпретувати, опрацьовувати сигнали та інформацію.

Мобільні картографічні системи

Мобільна система картографування (mobile mapping system – MMS) створює високоточну тривимірну карту міських територій, доріг, будівель використовуючи лазерні сканери та камери.

MMS дозволяє отримувати наступні дані [63]:

- отримує траєкторію руху транспортного засобу;
- 3D просторові дані навколишніх об'єктів у вигляді лазерних точок високої щільності;
- дані обробляються автоматично;
- чітка синхронізація часу та точне розпізнавання самопозиціонування;
- застосовує системи GNSS та IMU, дозволяє збирати дані навіть під час руху на високій швидкості;
- дозволяють отримувати цифрове зображення та точну навігацію.

Датчики цифрових зображень значно зменшують зусилля з обробки даних, виключаючи етап оцифрування. Кожне зображення штампується зі своїми параметрами геореференцій, а саме з трьома положеннями та трьома орієнтаціями, і може поєднуватися з будь-яким іншим геореференційним зображенням тієї самої сцени за допомогою геометричних обмежень, таких як епіполярна геометрія або узгодження об'єкту і простору.

Для побудови високоякісного 3D просторові дані навколишніх об'єктів застосовують мобільні системи на базі автомобілів [63].

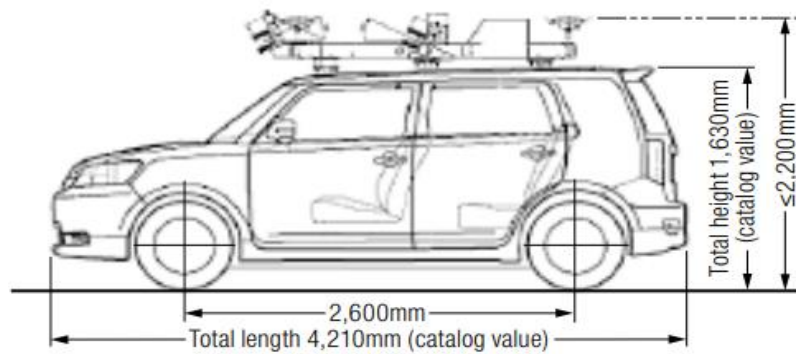


Рисунок 3.9 – MMS на базі автомобіля [63]

Мобільна система картографування (MMS) складається з GPS-антени, установлені на транспортному засобі, лазерних сканерів, камер та іншого обладнання. Ця система дозволяє ефективно отримувати високоточну 3D-позиційну інформацію: будівлі, контури доріг та інші придорожні дані під час руху.

Крім того, тепер MMS можна встановлювати на легкові транспортні засоби, простіша експлуатація була реалізована завдяки зменшенню вимог до простору всередині автомобіля.

Основні елементи MMS:

1) На даху встановлений блок з трьома GPS-антенами, IMU, камерами та лазерними сканерами.

2) Все обладнання налаштовано на виробничому заводі, тому складні процедури установки не потрібні.

3) Три GPS-антени, розташовані у трикутній конфігурації, точно фіксують положення автомобіля, дозволяючи вимірювати тривимірний простір дорожнього покриття та узбіччя, коли супутники видимі для приймачів GPS.

4) Можливі високоточні вимірювання; абсолютна та відносна точність знаходяться в межах 10 см та 1 см відповідно.

5) Система одометра фіксує навіть найменший рух автомобіля. У місцях, де вимірювання GPS можуть бути заблоковані, наприклад у тунелях, це обладнання забезпечує підтримку точності вимірювань.

6) Незалежно від того, точні дані можливо отримати навіть при русі зі швидкістю 80 км/год, MMS виконує точні вимірювання, не перешкоджаючи іншому руху або відчуваючи погіршення даних через швидкість.

7) Точні лазерні вимірювання досягаються завдяки точному визначенню положення автомобіля. Наприклад, система може точно фіксувати, як поверхню дороги, так і тунелі на дорозі, а також можна визначити точки, які з часом погіршилися.

На рис 3.10 представлено 3D-позиційну інформацію, яку отримано за допомогою MMS, що використовується далі для створення комп'ютерної графіки з реальних даних.



Рисунок 3.10 – Обробка комп'ютерної графіки на основі моделей реального розміру [63]

Мобільні системи картографування стали новою тенденцією у програмах картографування, оскільки вони дозволяють цілеспрямовано реалізовувати

геодезичні концепції на рівні вимірювань. Усі ці системи мають спільну особливість у тому, що датчики, необхідні для вирішення конкретної проблеми, встановлюються на загальній платформі.

Тенденція до MMS у геоматиці підживлюється попитом на швидке та економічне отримання даних та технологічним розвитком, який задовольняє цей попит. У цьому контексті особливо важливі дві події: цифрові зображення та точна навігація. Датчики цифрових зображень значно зменшують зусилля з обробки даних, виключаючи етап оцифрування. У вигляді цифрових рамних камер вони досить недорогі, і можуть бути основним інструментом проектування. У формі pushbroom сканерів вони надають додаткові шари інформації, недоступні з оптичних камер. Поєднуючи ці дві розробки, виникає концепція геореференційного зображення як основної фотограмметричної одиниці. Це означає, що на кожному зображенні штампуються його параметри геореференції, а саме три позиції та три орієнтації, і може поєднуватися з будь-яким іншим геореференційним зображенням тієї самої сцени за допомогою геометричних обмежень, таких як епіполярна геометрія або збіг об'єкту-простору [64].

Двочастотний геодезичний GPS або GNSS приймач залишається основним пристроєм, який використовується в мобільних системах картографування для визначення абсолютного положення рухомого транспортного засобу та його зображень (камера) та приладів вимірювання (лазерний сканер). Існує велика кількість приймачів GPS, GNSS, таких як: Trimble, Topcon, Leica, NovAtel, Javad та ін., які можуть генерувати необхідні позиційні дані якості охоплення супутників. Незмінно приймач GPS або GNSS буде працювати в диференціальному режимі щодо відповідної локальної базової станції або з використанням системи DGPS, такої наприклад, як OmniSTAR. Однак, оскільки багато мобільного картографування відбувається в міських районах з високими висотними будівлями або в районах з щільними кронами дерев – де спостереження за супутниками GPS або GNSS може бути обмеженим (що спричиняє слабку геометрію) або повністю втраченим - використання інерціальної одиниці вимірювання (IMU) та одометра (приладу для вимірювання відстані) для надання додаткової позиційної інформації у цих ситуаціях є майже стандартним [65].

Питання для самоконтролю

1. Що таке інтелектуальні транспортні системи?
2. У чому полягають проблеми стандартизації ІТС?
3. На яких рівнях відбувається процес стандартизації ІТС?
4. Які відомі сфери послуг ІТС відповідно стандарту ISO 14813-1?
5. Які послуги відносяться до «інформації про подорожуючого»?
6. Які послуги відносяться до «управління та організації дорожнім рухом»?
7. Перелічіть стратегії вирішення проблем ІТС.
8. Які послуги відносяться до забезпечення контролю і моніторингу транспортних засобів відповідно структури ІТС у США?
9. Які існують основні сфери застосування ІТС відповідно структури ІТС у США?
10. Для чого необхідно усвідомлювати та розуміти можливості ІТС керівникам міст?
11. Що розуміється під системою управління громадським транспортом?
12. Яку інформацію можливо отримати з інформаційних екранів?
13. На чому заснований алгоритм позиціонування транспортного засобу? Деталізуйте.
14. Охарактеризуйте інформаційні системи для пасажирів у режимі реального часу?
15. Охарактеризуйте можливості планувальника поїздок.
16. Охарактеризуйте можливості особистого консультанта пасажирів і керівництво з вибору маршруту?
17. Що таке мультимодальні пасажирські мережі? Які види транспорту можуть включати?
18. Які переваги підходу планування поїздок, що заснований на функції корисності?
19. Які переваги підходу планування поїздок, що заснований на зваженому часі?
20. Які недоліки підходу планування поїздок, що заснований на функції корисності?
21. Чому доцільно впроваджувати систему управління вантажним транспортом?
22. Які ключові завдання можливо ефективніше вирішити, застосовуючи СУВТ?
23. Яким чином може здійснюватися передача даних у СУВТ?

24. Опишіть структуру СУВТ.
25. У чому полягає мета застосування системи автоматичного визначення місця розташування транспортного засобу?
26. У чому полягає мета застосування системи автоматичного контролю транспортного засобу?
27. Опишіть особливості системи слідкування та відстежування.
28. У чому полягає мета застосування системи електронного збору оплати коштів?
29. Охарактеризуйте систему електронного збору оплати паркування.
30. Назвіть основні проблеми електронних платіжних систем у Європі.
31. В чому полягає концепція сталого розвитку логістики і транспорту?
32. Поясніть взаємозв'язок логістики та інших учасників просування вантажопотоку (зацікавлених сторін) ?
33. З яких етапів складається процес визначення меж зони обслуговування роздрібного торговця?
34. Як знайти вірогідність відвідування роздрібного торговця кінцевими споживачами що мешкають у сусідніх районах?
35. З чого складаються повні (генералізовані) витрати кінцевих споживачів?
36. Які складові процесу придбання кінцевих споживачів?
37. Які технології просування товарів існують?
38. Як знайти оптимальну партію поставки EOQ?
39. Охарактеризуйте загальні витрати на просування 1т вантажу.
40. Що таке інтелектуальні транспортні системи?
41. Які підходи є до визначення параметрів руху транспортних засобів?
42. Які детектори застосовуються в ІТС?
43. Які датчики використовуються для визначення параметрів руху транспортних засобів?
44. Які саме параметри визначати можуть детектори руху транспортних засобів?
45. Які параметри надає застосування системи GPS на транспорті?
46. Які особливості застосування автономних транспортних засобів?
47. На якому принципі побудовані технології стеження за автономними транспортними засобами?
48. Які системи відео розпізнавання застосовуються на транспорті?
49. Як застосування ІТС може покращити функціонування транспортних потоків?
50. Яка ефективність застосування ІТС?
51. Які функціональні призначення у радарів та камер у містах?

52. Які мобільні додатки дозволяють планувати маршрути руху?
53. Які системи датчиків застосовують для визначення вільних місць паркування?
54. Які фактори впливають на утворення транспортного затору?
55. Які негативні наслідки від автомобільного транспорту?
56. Які існують системи управління дорожнім рухом?
57. Як виконується контроль та регулювання швидкості руху у містах?
58. В який спосіб відбувається інформування водіїв про умови руху?
59. Які наслідки застосування предсигналів?
60. Які засоби застосовуються для підвищення безпеки руху транспортних потоків?
61. Які засоби застосовуються для підвищення безпеки пішохідних потоків?
62. Які існують обмеження швидкості руху?
63. Як виконується контроль за швидкісним режимом руху?
64. Які працює система автоматизованого управління дорожнім рухом?
65. Які основні причини помилок водіїв і як застосування ІТС може їх зменшити?
66. Поясніть як функціонує глобальна навігаційна супутникова система?
67. Які параметри надає користувачеві застосування системи GPS
68. Які функції виконують мобільні картографічні системи.
69. Від чого залежить точність позиціонування?
70. Що таке базова станція?
71. Які параметри у просторі дозволяє отримати застосування мобільних картографічних систем.

Список рекомендованої літератури:

1. Directive 2010/40/EU of the European Parliament and of the Council of 7 July 2010.
2. Williams B. *Intelligent Transport Systems Standards*. Artech House, Inc., 2008. 827 p.
3. *Advanced technologies for intelligent transportation systems* / M.Picone et al. Springer, 2015. 238 p.
4. Intelligent Transportation Systems Joint Program Office / United States Department of Transportation. 2021. URL: <https://www.pcb.its.dot.gov/eprimer/module8.aspx#intro>.
5. Sayeg P., Charles P. *Intelligent Transport System Module 4e. Sustainable Transport: A Source Book for Policy-Makers in Developing Cities*. Transport Policy Advisory Services. 2009.
6. Nuzzolo A., Lam W. *Modelling intelligent multi-modal transit systems*. CRC Press, 2016. 338 p.
7. Nuzzolo A., Crisalli U., Comi A., Rosati L. *An Advanced Traveller Advisory Tool Based on Individual Preferences*. *Procedia – Social And Behavioral Sciences*. 2014. Vol. 160, P. 539–547.
8. *Highly Automated Vehicle Systems*. 2019. URL: http://old.mogi.bme.hu/TAMOP/jarmurendszerk_iranyitasa_angol/index.html.
9. *Mobility and Transport of European Commission. Action Plan and Directive*. 2021. URL: https://ec.europa.eu/transport/themes/its/road/action_plan_en.
10. *The European Electronic Toll Service (EETS). Guide for the application of the directive on the interoperability of electronic road toll systems*. Directorate-General for Mobility and Transport. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2011. 78 p.
11. Taniguchi E., Thompson R.G. (ed.). *Logistics systems for sustainable cities*. Amsterdam : Elsevier, 2004. Vol. 450.
12. *City logistics modeling efforts: Trends and gaps – A review* / N.Anand, H.Quak, R. van Duin, L.Tavasszy. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2012. Vol. 39, P. 101–115.
13. *Modelling city logistics*. In *City logistics* / E.Taniguchi, R.G. Thompson, T.Yamada, R. van Duin. Emerald Group Publishing Limited, 2001.
14. Taniguchi E. 20 City logistics. Handbook on Transport and Urban Planning in the Developed World. 2016. 375 p.

15. Urban Freight Regulations: How much they cost the consumers? / C.Kumar, T.Vijayaraghavan, A.Chakraborty, R.G. Thompson. *Transportation Research Procedia*. 2018. Vol. 30, P. 373–383.
16. Aljohani K., Thompson R.G. An examination of last mile delivery practices of freight carriers servicing business receivers in inner-city areas. *Sustainability*. 2020. Vol. 12 (7), P. 2837.
17. Anand N., van Duin R., Tavasszy L. Carbon credits and urban freight consolidation: An experiment using agent based simulation. *Research in Transportation Economics*. 2021. Vol. 85.
18. Comi A. A modelling framework to forecast urban goods flows. *Research in Transportation Economics*. 2020. Vol. 80.
19. Assessing the Impact of Population Mobility on Consumer Expenditures while Shopping / A.Galkin et al. *Transportation Research Procedia*. 2020. Vol. 48, P. 2187–2196.
20. The rational scope of using direct and multilevel logistics channels for material flow distribution (case study in Ukraine) / Y.Kush et al. *Independent Journal of Management & Production*. 2020. Vol. 11 (7), P. 2805–2826.
21. Galkin A., Dolia C., Davidich N. The role of consumers in logistics systems. *Transportation Research Procedia*. 2017. Vol. 27. P. 1187–1194.
22. Last-Mile delivery for consumer driven logistics / A.Galkin et al. *Transportation Research Procedia*. 2019. Vol. 39, P. 74–83.
23. Urban freight restocking tours simulations for JIT and EOQ / K.Chebanyuk et al. In *Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019: Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020*. 2019. P. 5920–5930.
24. Vehicular ad-hoc networks sampling protocols for traffic monitoring and incident detection in intelligent transportation systems / A.Baiocchi, F.Cuomo, M. De Felice, G.Fusco, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2015. Vol. 56, P. 177–194.
25. Johnson A.N. Maryland aerial survey of highway traffic between Baltimore and Washington. *Highway Research Board Proceedings*. 1929. Vol. 8.
26. May A.D. *Traffic Flow Fundamentals* Prentice Hall. USA, NJ : Inc. Ebglewood Clieffs, 1990.
27. Mohamed S.R.M. Generalized traffic model for major roads in Egypt and its utilization in macroscopic simulation. 2013.

28. Roess R.P., Prassas E.S., McShane W.R. Traffic engineering. Pearson/Prentice Hall, 2004.
29. A real-time computer vision system for vehicle tracking and traffic surveillance / B.Coifman, D.Beymer, P.McLauchlan, J.Malik. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 1998. Vol. 6(4). P. 271–288.
30. Klein L.A., Mills M.K., Gibson D.R. Traffic detector handbook. US Department of Transportation, Federal Highway Administration, Research, Development, and Technology, Turner-Fairbank Highway Research Center. 2006.
31. Aljamal M.A., Abdelghaffar H.M., Rakha H.A. Kalman filter-based vehicle count estimation approach using probe data: A multi-lane road case study. In *2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC)*. 2019. P. 4374–4379.
32. Tyagi V., Kalyanaraman S., Krishnapuram R. Vehicular traffic density state estimation based on cumulative road acoustics. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2012. Vol. 13(3), P. 1156–1166.
33. *European Transport Safety Council*. URL: <https://etsc.eu/briefing-cooperative-intelligent-transport-systems-c-its/>.
34. *BMW Connected Drive*. URL: <http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/connecteddrive/2010/index.html>.
35. *Ford SYNC*. URL: <http://www.ford.com/technology/sync/>.
36. *GM OnStar*. URL: <https://www.onstar.com/web/portal/landing>.
37. Miucic R., Bai S. Performance of aftermarket (DSRC) antennas inside a passenger vehicle. *SAE International Journal of Passenger Cars-Electronic and Electrical Systems*. 2011. Vol. 4. P. 150–155.
38. Aljamal M.A., Abdelghaffar H.M., Rakha H. A. Estimation of traffic stream density using connected vehicle data: Linear and nonlinear filtering approaches. *Sensors*. 2020. Vol. 20(15), P. 4066.
39. Seo T., Kusakabe T., Asakura Y. Estimation of flow and density using probe vehicles with spacing measurement equipment. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2015. Vol. 53, P. 134–150.
40. Behrendt K., Novak L., Botros R. A deep learning approach to traffic lights: Detection, tracking, and classification. In *2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. 2017. P. 1370–1377.
41. Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation / R.Girshick, J.Donahue, T.Darrell, J.Malik. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. 2014. P. 580–587.

42. Wu Y.Y., Tsai C.M. Pedestrian, bike, motorcycle, and vehicle classification via deep learning: Deep belief network and small training set. In *2016 International Conference on Applied System Innovation (ICASI)*. 2016. P. 1–4.
43. Applications of artificial intelligence and machine learning in smart cities / Z.Ullah, F.Al-Turjman, L.Mostarda, R.Gagliardi. *Computer Communications*. 2020. Vol. 154. P. 313–323.
44. Nellore K., Hancke G.P. Traffic management for emergency vehicle priority based on visual sensing. *Sensors*. 2016. Vol. 16(11). P. 1892.
45. Zheng P., Mike M. An investigation on the manual traffic count accuracy. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 2012. Vol. 43. P. 226–231.
46. Yogesh G.K.V., Sharma A., Vanajakshi L. An improved inductive loop detector design for efficient traffic signal operations and leaner space requirements. *Transportation Research Record*. 2018. Vol. 2672 (18), P. 143–153.
47. Smart parking system (SPS) architecture using ultrasonic detector / A.Kianpisheh, N.Mustaffa, P.Limtrairut, P.Keikhosrokiani. *International Journal of Software Engineering and Its Applications*. 2012. Vol. 6 (3), P. 55–58.
48. Jo Y., Jung I. Analysis of vehicle detection with WSN-based ultrasonic sensors. *Sensors*. 2014. Vol. 14 (8). P. 14050–14069.
49. Prasetyo M.A., Latuconsina R., Purboyo T.W. A proposed design of traffic congestion prediction using ultrasonic sensors. *Int J Appl Eng Res*. 2018. Vol. 13 (1). P. 434–441.
50. Treiber M., Kesting A. Traffic flow dynamics. *Traffic Flow Dynamics: Data, Models and Simulation*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013.
51. Traffic flow prediction with big data: a deep learning approach / Y.Lv et al. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2014. Vol. 16 (2), P. 865–873.
52. Elefteriadou L. An introduction to traffic flow theory. New York : Springer, 2014. Vol. 84.
53. Schnabel W., Lohse D. Grundlagen der Strassenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung. Baende 2. 1997.
54. Ortuzar J.D.D., Willumsen L.G. Modelling Transport. John Wiley & Sons Ltd, 2001.
55. Wolshon B., Pande A. Traffic engineering handbook. John Wiley & Sons Ltd, 2016.
56. Prasolenko O., Lobashov O., Galkin A. The human factor in road traffic city. *International Journal of Automation, Control and Intelligent Systems*. 2015. Vol. 1 (3), P. 77–84.
57. Creating safer routing for urban freight transportation / O.Prasolenko et al. *Transportation research procedia*. 2019. Vol. 39. P. 417–427.

58. Sanz Subirana J., Juan Zornoza J., HernandezPajares M. GNSS Data Processing : Volume I: Fundamentals and Algorithms. European Space Agency, ESA Communications, ESTEC, May 2013.
59. *System Solutios*. URL: <https://systemnet.com.ua/kitaj-zavershil-formirovanie-svoej-sistemy-sputnikovoj-navigacii-beidou/>.
60. Race Technology Ltd, May 2005.
61. Bataller Martí Carlos Configuración y programación de un GPS diferencial para la navegación autónoma de robots móviles y vehículos ligeros. 2015.
62. Agnas E., Jerenvik M. Estimation of position and orientation of truck kinematic frames. 2016.
63. Mitsubishi Electric Mobile Mapping System – High-accuracy GPS Mobile Measuring Equipment. URL: https://www.mitsubishielectric.co.jp/mms/pdf/mms_e.pdf.
64. El-Sheimy N. An overview of mobile mapping systems. In *Proceedings of the FIG Working Week*. 2005. P. 16–21.
65. Petrie G. Mobile mapping systems: An introduction to the technology. *GeoInformatics*. 2010. Vol. 13 (1), P. 32–43.

РОЗДІЛ 2

ПАСАЖИРСЬКА ТРАНСПОРТНА СИСТЕМА

Розділ присвячено аналізу різних методів моделювання маршрутних систем, управління пасажирськими перевезеннями з врахуванням людського чинника. У питаннях моделювання маршрутних систем, прогнозування часу подорожі є важливим інструментом планування для підприємств громадського транспорту, враховуючи, що воно може покращити якість запланованих послуг за рахунок зменшення розриву між фактичним та запланованим часом поїздки. У даній темі описано наступні питання: основи створення транспортних моделей у PTV Visum; показники якості транспортних моделей; індукований попит на транспортні послуги; управління попитом на транспортні послуги; прогнозування пасажиропотоків; загальні положення моделювання попиту на транспортні послуги; моделювання попиту на переміщення у PTV Visum з використанням класичної чотирьохетапної моделі.

Метою даного розділу є також аналіз теоретичних основ визначення ефективності транспортних систем у соціальних, екологічних та економічних напрямках. Наведено основні поняття та методики визначення ефективності транспортних систем міст.

CHAPTER 2

PASSENGER TRANSPORT SYSTEM

The Chapter is devoted to the analysis of various methods of modeling of route systems, management of passenger transportations taking into account the human factor. In the field of route systems modeling, travel time forecasting is an important planning tool for public transport companies, given that it can improve the quality of planned services by reducing the gap between actual and planned travel time. This topic describes the following issues: the basics of creating transport models in PTV Visum; quality indicators of transport models; induced demand for transport services; demand management for transport services; forecasting passenger flows; general provisions for modeling the demand for transport services; modeling the demand for relocation in PTV Visum using the classic four-stage model.

The purpose of this section is also to analyze the theoretical foundations of determining the efficiency of transport systems in social, environmental and economic areas. The basic concepts and methods of determining the efficiency of urban transport systems are presented.

Тема 1. Міський пасажирський транспорт

Theme 1. City passenger transport

М.М. Жук, В.В. Гілевич, В.В. Ковалишин, Г.В. Півторак

Mykola Zhuk, Volodymyr Hilevych, Volodymyr Kovalyshyn, Halyna Pivtorak

1.1. Моделювання маршрутних систем

1.1. Modeling of route systems

Міська транспортна система

Транспортна система міста – це складна система, що включає в себе вулично-дорожню мережу, рухомий склад, матеріальну базу для обслуговування (гаражі, автопарки, стоянки, ремонтні майстерні) та підсистему управління.

Основними функціями транспортних систем міста є:

1. Забезпечення транспортної доступності (наявність транспортного зв'язку між певною територією та іншими територіями);
2. Зменшення транспортних витрат (фінансових чи часових витрат, які виникають під час реалізації транспортних потреб).

Якісна транспортна система міста має задовольняти критеріям гуманітарної орієнтації і сталого розвитку міста (формування умов, які роблять місто привабливим, а життя в ньому зручним, спокійним і приємним), економічної життєздатності і ефективності та соціального благополуччя. Відповідно, до якісної транспортної системи висуваються такі вимоги:

1. Забезпечувати сполучення всіх районів, де є попит на транспортні послуги.
2. Бути доступною для всіх груп населення: в місті і передмістях, для всіх вікових категорій, економічних груп тощо.
3. Забезпечувати доступ до вузлів зовнішнього транспорту: аеропортів, вокзалів тощо;
4. Мати достатню провізну здатність.
5. Мати задовільні якісні характеристики: швидкість, безпеку, надійність, комфорт.
6. Передбачати розумні витрати і справедливо встановлені тарифи.
7. Ефективно поєднуватися з орієнтованим на людей міським середовищем і вулицями, пристосованими до потреб житлових, ділових та торгівельних зон, історичних об'єктів.

8. Стимулювати формування бажаних форм і напрямків міської забудови.
9. Працювати з мінімально можливими негативними зовнішніми ефектами.

Аналізуючи розвиток транспортних систем, потрібно враховувати ресурсні обмеження: першим обмеженням в розвитку вважаються фізичні розміри людини («нижня» межа: габарити легкового автомобіля), другим обмеженням – наявність вільних територій («верхня» межа).

Залежно від співвідношення «ефективність – інвестиційні потреби» міський пасажирський транспорт поділяють на три групи (рис. 1.1).

1. Група А: позавуличні види транспорту (метро, приміська електричка).
2. Група В: частково позавуличні види транспорту (швидкісний трамвай, системи ШАП – швидкісних автобусних перевезень).
3. Група С: вуличні види транспорту (трамвай, тролейбус, автобус).

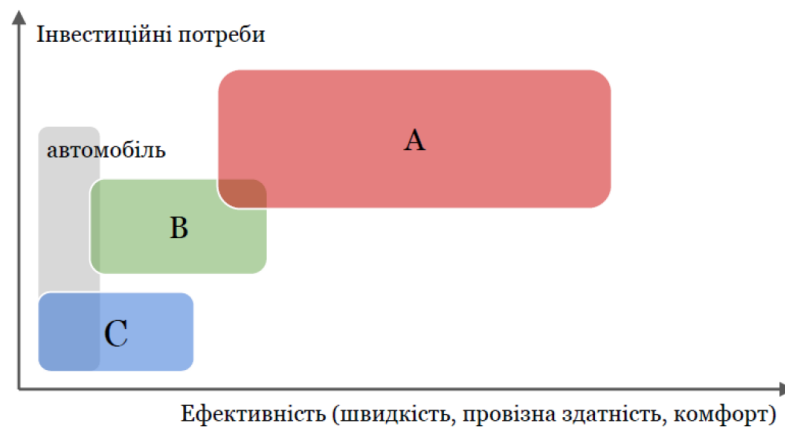


Рисунок 1.1 – Групи міського пасажирського транспорту

Якщо характеризувати міську транспортну систему по представлених в ній видах транспорту, то виділяють одномодальну (один вид транспорту), мультимодальну (кілька неінтегрованих між собою видів транспорту) та інтермодальну (кілька інтегрованих між собою видів транспорту) ТС. Найбалансованішою вважається інтермодальна транспортна система, яка спроектована і функціонує таким чином, що кожен вид транспорту виконує в ній ту роль, в якій він найбільш ефективний.

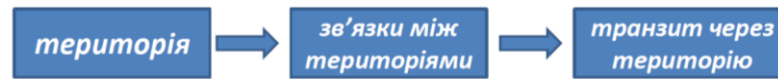
При управлінні міською транспортною системою доцільно враховувати два принципи:

1. Перший принцип – принцип етапності: від складного до простого:



Цей принцип визначає, що якість функціонування території важливіша за якість функціонування вулиць, які в неї входять, а якість функціонування вулиці загалом важливіша за якість функціонування окремих її перехресть.

2. Другий принцип – принцип територіальності:



В межах другого принципу стверджується, що самодостатність кожної міської території в транспортному плані важливіша за транспортні зв'язки між територіями, а транспортні зв'язки між територіями важливіші за їх транзитний потенціал.

Хоча транспортній системі притаманні риси, якими характеризуються всі інженерні технічні системи, проте її функціонування суттєво залежить від соціальної складової, що призводить певних її особливостей:

1. Ймовірна складова транспортних систем породжує можливі неоднакові результати одних і тих же планувальних рішень в схожих ситуаціях. Наприклад, жорстке обмеження паркування в одному місті призведе до росту кількості споживачів громадського транспорту, а в іншому – до росту кількості користувачів перехоплюючи паркінгів.

2. Користувачі транспортної системи здатні до навчання та адаптування до результатів нових планувальних рішень. Наприклад, пасажирів звикають до нового маршруту громадського транспорту, користувачі приватних автомобілів при введенні одностороннього руху на певній ділянці ВДМ оберуть інший маршрут.

3. Транспортній системі характерні просторові і часові нелінійності (зміна інтенсивності пасажиропотоку протягом робочого дня, розосередження територією міста місць праці, навчання тощо, можливість їх концентрації в певних районах).

4. Можлива диспропорція між значущістю планувального рішення та реакцією на нього. Наприклад, підвищення рівня сервісу на громадському транспорті може не спровокувати суттєвого підвищення кількості пасажирів, а незначні позитивні зміни в світлофорному регулюванні – спричинити різкий ріст кількості водіїв, що оберуть рух через це перехрестя.

Основи створення транспортних моделей у PTV Visum

Моделювання є необхідним елементом транспортного планування, що дозволяє знаходити рішення транспортних проблем і перевіряти ці рішення перед їх впровадженням в реальних умовах.

Загалом транспортна модель являє собою програмний комплекс, який складається з інформаційних і розрахункових блоків.

Інформаційні блоки складають єдину базу даних, призначену для зберігання та обробки інформації, необхідної для розрахунку транспортних та пасажирських потоків. Розрахункові блоки реалізують алгоритми розв'язання задач математичного програмування, орієнтованих на розрахунок потреби в пересуваннях і транспортних потоків.

Основними компонентами транспортної моделі є:

1. Типи переміщень територією (пішки, приватним транспортом, громадським транспортом, велосипедом тощо).
2. Функціональне використання території моделювання.
3. Соціально-економічні та демографічні показники жителів території моделювання (середній дохід, рівень автомобілізації, середній розмір домашнього господарства тощо).
4. Загальний економічний розвиток території планування (створення нових підприємств, будівництво нових житлових кварталів тощо).

Програмний комплекс PTV Visum – це широко використовувана платформа для створення транспортних моделей міст, країн чи певних регіонів. PTV Visum базується на геонформаційній системі - комп'ютерній інформаційній системі, яка дозволяє збирати, змінювати, відновлювати, аналізувати, моделювати і візуалізувати географічні дані.

Геоінформаційні системи акумулюють в собі два типи даних – позиційні та атрибутивні.

Позиційні дані описують просторові характеристики різних об'єктів (дороги, маршрути, будівлі, водойми, лісові масиви). Позиційні дані, в свою чергу, діляться на векторні та растрові.

Векторні дані відображаються трьома типами об'єктів: точками, лініями та площинами. Лінії отримуються як точки, сполучені прямими, так званими полілініями. Площина утворюється серією точок, з'єднаних прямими.

Особливістю растрових типів даних є незмінність. Прикладом растрових даних може бути супутникове фото земної поверхні.

Атрибутивні дані – це характеристики векторних об'єктів (наприклад, довжина дороги, тип будівлі чи споруди, вид регулювання руху на перехресті). Найчастіше атрибутивні дані зберігаються у таблицях реляційної бази даних.

Транспортна модель у PTV Visum зазвичай складається з моделі мережі, моделі попиту на транспорт та різноманітних моделей впливу на транспортну систему.

Модель мережі містить дані транспортної пропозиції. Це вулично-дорожня мережа, що складається з вузлів (перехресть) та відрізків (ділянок вулиць, рейкових доріг тощо), мережа громадського транспорту, що складається з зупинок і маршрутів та розкладів руху транспортних засобів на маршрутах, а також транспортні райони.

Модель попиту на транспорт містить дані попиту на транспортні послуги: джерело та ціль поїздок, їх кількість, просторовий розподіл об'єктів інфраструктури, статистичні дані про користування населення транспортом, залежність попиту на транспортні послуги від часу доби, пори року тощо.

Інформація, що міститься в моделі мережі та моделі попиту, є основою для моделей впливу:

1. Модель користувача – моделює характер переміщень пасажирів. При цьому розраховуються показники завантаження мережі і параметри користувача (наприклад, час поїздки, кількість пересадок тощо).

2. Модель перевізника – розраховує експлуатаційні показники громадського транспорту (кількість одиниць рухомого складу громадського транспорту, експлуатаційні витрати, сумарну довжину обслуговуваних поїздок, рентабельність маршруту тощо).

3. Модель впливу на навколишнє середовище – розраховує викиди шкідливих речовин, рівень шуму тощо.

Модель транспортної пропозиції дає уявлення про можливості існуючої транспортної інфраструктури модельованої території. На виході моделі формуються матриці затрат – таблиці, які містять інформацію про часові, грошові та інші види витрат на переміщення між транспортними районами.

Транспортною мережею відбуваються всі типи переміщень, які наявні на території моделювання: пішохідний рух, рух приватного, громадського та інших видів транспорту (наприклад, велосипедного, залізничного тощо). Для задання цих типів переміщень у PTV Visum створюються системи транспорту. Базовими системами транспорту є:

1. Система індивідуального транспорту (*PrT - Private Transport*).
2. Система громадського транспорту (*PuT - Public Transport*);
3. Рух пішки (*Walk*).

Кожна система транспорту зв'язана з одним чи кількома сегментами попиту через режими. Режими використовуються для моделювання можливості переміщення з використанням кількох систем транспорту протягом однієї поїздки. Сегменти попиту використовуються для моделювання переміщень з використанням однієї чи кількох систем транспорту.

До основних характеристик якості транспортної моделі відноситься величина, деталізація та кількість результатів розрахунку моделі (табл. 1).

І, очевидно, що важливим елементом, що визначатиме якість сформованої транспортної моделі, є професійність розробника цієї моделі і його розуміння процесів, що відбуваються під час функціонування транспортної системи.

Таблиця 1 – Показники якості транспортних моделей

Показник якості	Чинники, що входять в показник якості
Величина моделі	Кількість вузлів (додатково – метод регулювання, затримки, заборони певних маневрів тощо)
	Кількість відрізків
	Кількість примикань
	Кількість транспортних районів
	Кількість зупинок громадського транспорту
	Кількість маршрутів громадського транспорту
Деталізація моделі	Кількість систем транспорту
	Кількість режимів переміщення
	Кількість шарів попиту
	Кількість використовуваних функцій опору (одна для різних шарів попиту чи різні)
Кількість результатів розрахунку моделі	Кількість місць підрахунку
	Коефіцієнт кореляції
	Середня абсолютна та відносна похибки

Моделювання мережі громадського транспорту у PTV Visum

Мережа громадського транспорту (ГТ) формується для системи *PuT* і складається з трьох основних елементів: зупинок, маршрутів та розкладів руху.

Поняття «зупинка громадського транспорту» у PTV Visum має ієрархічну структуру. Конкретне місце зупинки одного чи кількох маршрутів руху ГТ на мережі називається пунктом зупинки (*Stop Point*). Це найнижчий елемент ієрархії зупинок ГТ. Оскільки рух транспорту може відбуватися тільки в межах змодельованої мережі, то пункт зупинки повинен мати зв'язок з мережею. Тому додавання пункту зупинки можливе тільки на вузлі або на відрізьку.

Наступним елементом ієрархії зупинок ГТ є зона зупинки (*Stop Area*) – територія довкола одного чи кількох пунктів зупинки. Зони зупинки слугують для прив'язки зупинок ГТ до транспортних районів та мережі пішохідних шляхів поза зупинкою, а також для задавання часу, який витрачається для руху пішки при переході між зонами зупинок при пересадці в межах однієї зупинки.

Кілька зон зупинки можна об'єднати в одну зупинку (*Stop*). Об'єкт *Stop* у PTV Visum містить інформацію про час руху пішки при пересадці в межах однієї зони зупинки чи між зонами зупинок. Наприклад, з допомогою шару *Stops* може бути змодельований залізничний вокзал, з допомогою шару *Stop Areas* – зона зупинки поїздів і зона зупинки громадського транспорту біля вокзалу, а з допомогою шару *Stop Points* – окремі платформи (залізничні та автобусні).

При відсутності потреби в детальному моделюванні території зупинки позначаються в шарі *Stop Points*. При цьому зони зупинки створюються автоматично.

Поняття маршруту у PTV Visum теж має ієрархічну структуру (рис. 1.2).



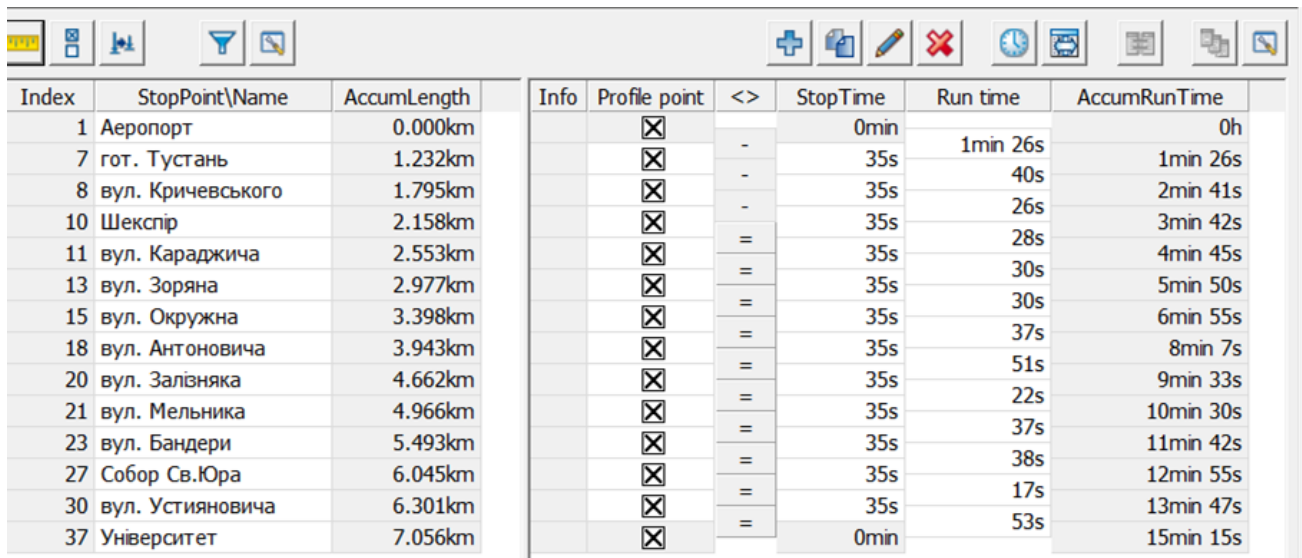
Рисунок 1.2 - Ієрархія маршрутів у PTV Visum

Маршрут структурує транспортну пропозицію системи громадського транспорту. Він не має просторового ходу, але об'єднує в собі один чи кілька варіантів маршруту.

Варіант маршруту відображає шлях руху маршруту по вулично-дорожній мережі. Він є направленим, тому зазвичай один маршрут має як мінімум два варіанти – шлях руху в прямому та в зворотному напрямках.

Якщо потрібно проаналізувати спільні характеристики кількох маршрутів, то їх можна об'єднати в один вищий маршрут. Якщо варіанти одного маршруту можуть належати тільки одній системі транспорту, то вищий маршрут може об'єднувати маршрути різних систем транспорту.

Профіль часу руху описує часові характеристики маршруту – тривалість руху між кожною парою зупинок маршруту та тривалість простою на зупинці (рис. 1.3). Для одного варіанту маршруту можна створити кілька профілів часу руху. Це доцільно, коли, наприклад, у вихідні дні тижня зупинка в деяких пунктах зупинки маршруту не передбачена.



Index	StopPoint\Name	AccumLength	Info	Profile point	<>	StopTime	Run time	AccumRunTime
1	Аеропорт	0.000km		<input checked="" type="checkbox"/>	-	0min		0h
7	гот. Тустань	1.232km		<input checked="" type="checkbox"/>	-	35s	1min 26s	1min 26s
8	вул. Кричевського	1.795km		<input checked="" type="checkbox"/>	-	35s	40s	2min 41s
10	Шекспір	2.158km		<input checked="" type="checkbox"/>	=	35s	26s	3min 42s
11	вул. Караджича	2.553km		<input checked="" type="checkbox"/>	=	35s	28s	4min 45s
13	вул. Зоряна	2.977km		<input checked="" type="checkbox"/>	=	35s	30s	5min 50s
15	вул. Окружна	3.398km		<input checked="" type="checkbox"/>	=	35s	30s	6min 55s
18	вул. Антоновича	3.943km		<input checked="" type="checkbox"/>	=	35s	37s	8min 7s
20	вул. Залізняка	4.662km		<input checked="" type="checkbox"/>	=	35s	51s	9min 33s
21	вул. Мельника	4.966km		<input checked="" type="checkbox"/>	=	35s	22s	10min 30s
23	вул. Бандери	5.493km		<input checked="" type="checkbox"/>	=	35s	37s	11min 42s
27	Собор Св.Юра	6.045km		<input checked="" type="checkbox"/>	=	35s	38s	12min 55s
30	вул. Устияновича	6.301km		<input checked="" type="checkbox"/>	=	35s	17s	13min 47s
37	Університет	7.056km		<input checked="" type="checkbox"/>	=	0min	53s	15min 15s

Рисунок 1.3 – Профіль часу руху варіанту маршруту у PTV Visum

Обслуговуюча поїздка належить певному варіанту маршруту і певному профілю часу руху та з'єднує між собою два пункти зупинки (які не зобов'язані бути ні суміжними, ні кінцевими для даного варіанту маршруту). Зазвичай в межах однієї обслуговуючої поїздки знаходиться одна ділянка обслуговуючої поїздки.

Розклад руху – це графік чи таблиця, в якій містяться дані про час, місце і послідовність виконання рейсів транспортного засобу ГПТ (рис. 1.4).

16 vehicle journeys (3 groups)			
Headway start	06:00:00 ...	07:00:00 ...	08:00:00 ...
Headway end	07:00:00 ...	08:00:00 ...	09:00:00 ...
Headway time	20min ...	15min ...	10min ...
Number of veh. journ.	4	5	7
Count(No)	4	5	7
Name			
LineName	Маршрут № 29	Маршрут № 29	Маршрут № 29
DirectionCode	>	>	>
Concatenate:VehJourneySecti	Daily	Daily	Daily
From TPProfileIdentifier	337 зупинки м-ту №	337 зупинки м-ту №	337 зупинки м-ту №
Headway(Dep)	20min	15min	10min
Headway(Arr)	20min	15min	10min

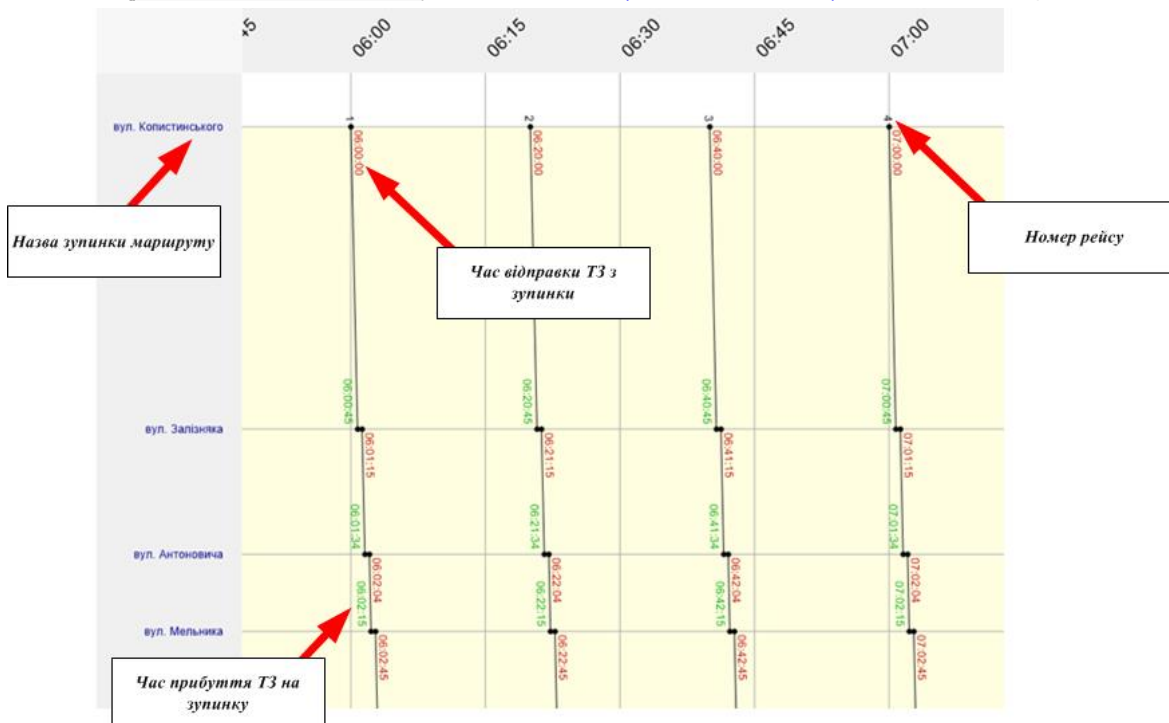


Рисунок 1.4 – Табличне та графічне представлення розкладів руху у РТВ Visum

Інформація щодо характеристик маршрутної мережі є основою для подальшої оптимізації певних маршрутів, оцінки ефективності їх функціонування, підбору оптимального парку рухомого складу, зменшення шкідливих викидів тощо.

1.2 Управління пасажирськими перевезеннями 1.2 Passenger traffic management

Індукований попит на транспортні послуги

Час, необхідний для того, щоб дістатися з одного пункту до іншого – це одна з багатьох характеристик поїздки. Серед інших характеристик – безпека поїздки (або сприйняття безпеки), комфортність, надійність або частота надання послуг, тощо.

У широкому розумінні, *індукований попит на транспортні послуги* – це збільшення обсягів переміщень внаслідок покращення його умов. Рух вважається індукованим, якщо можна довести, що після покращення однієї чи кількох характеристик поїздки кількість поїздок збільшується, а в іншому випадку їх кількість не змінилася б. Зазвичай, коли мова йде про індукований рух і покращення характеристик переміщення, то це часові характеристики, тобто зменшення тривалості поїздки, покращення її надійності або покращення обох характеристик.

Поняття індукованого руху повністю узгоджується з мікроекономічними законами попиту і пропозиції. Для споживачів транспортування передбачає такі затрати: безпосередні грошові затрати на поїздку, «затрати можливостей», адже час, витрачений на поїздку, можна було провести по-іншому (наприклад, відпочити, отримати додатковий заробіток), а також, згідно з деякими розрахунками, певна частина постійних, «таких, що не підлягають поверненню» витрат, які вже зроблені для отримання безкоштовного, але обмеженого в часі доступу до транспортного засобу (володіння і утримання засобу пересування, придбання місячного проїзного квитка тощо).

Зміни у транспортній мережі, які зменшують часові витрати поїздки за рахунок додаткової пропускну здатності або, наприклад, надання цілком нових послуг, мають ефект зменшення «загальної вартості» поїздки. Закон попиту і пропозиції твердить, що коли знижуються ціни, то попит зростає. Збільшення попиту в результаті зменшення «загальної вартості» поїздки можна назвати індукованим попитом на транспортні послуги.

Характерні властивості індукованого попиту:

Властивість 1. Індукований рух на рівні міста стосується переміщень загалом, а не окремих одиничних поїздок. Індукований рух не обов'язково є наслідком того, що люди більше і частіше здійснюють поїздки.

Властивість 2. Концепція індукованого руху застосовується до усього транспортного сектору, а не лише до одного виду транспорту. Удосконалення повітряних перевезень чи громадського транспорту так само здатні формувати індукований попит, як і вдосконалення дорожньої інфраструктури. У громадському транспорті, наприклад, збільшення обсягів перевезень може спостерігатися у відповідь на скорочення тривалості переміщення завдяки зменшенню інтервалів руху, а також у відповідь на зменшення плати за проїзд та підвищення рівня комфорту та безпеки. Поїздки можуть також бути індукованими і між видами пересування. Наприклад, створення високошвидкісного залізничного сполучення

між двома містами може підвищити кількість автомобільних поїздок між ними у зв'язку з підвищеннями економічної або суспільної взаємодії.

Властивість 3. Індукований рух не є єдиним джерелом зростання попиту на перевезення. Існує також збільшення кількості переміщень, яке не є наслідком удосконалень умов перевезення. Таке збільшення обсягів перевезень називають «природним зростанням попиту», на протипагу «індукованому попиту». Дуже важливо, як на поняттєвому, так і практичному рівні, розділяти ці два поняття. Існує багато чинників, які спричиняють природне зростання попиту на транспортні послуги, включно зі змінами в структурі населення, працевлаштуванні, величині доходу, соціально-демографічних показниках, податках тощо.

Властивість 4. Індукований рух можна зрозуміти лише у співставленні з гіпотетичним «базовим» випадком або певним супротивним. Індукований рух неможливо оцінити, просто спостерігаючи за тим, як виникають існуючі умови. Навпаки, відповідно до визначення, індукований попит описує, як відрізнялися б існуючі умови, якби у минулому було зроблено інший вибір, або як відрізнятимуться майбутні умови, якщо буде вибраний інший сценарій розвитку.

Розділяють поняття прямого та непрямого індукованого попиту.

Прямий індукований рух, як правило, стосується свідомого рішення наявних або потенційних пасажирів скористатися змінами у тривалості подорожі від пункту до пункту, змінюючи моделі поїздок таким чином, що збільшується загальний обсяг переміщень. Такі рішення, у свою чергу, можуть виникати у різних часових рамках, які поділяють на три категорії: миттєві, короткотермінові та довготермінові.

Миттєві зміни в пересуванні: потенційні або існуючі пасажирки можуть реагувати на зміни у пропускній здатності транспортної системи відносно швидко, змінюючи свої звички щодо переміщень одним із трьох способів (так зване «потрійне зближення»):

- часове зближення – люди можуть змінювати час, коли вони розпочинають поїздку;

- просторове зближення – люди можуть змінювати свій маршрут;

- модальне зближення – люди можуть змінювати вид транспорту, яким вони подорожують.

У всіх трьох випадках люди реагують на зміни у тривалості поїздки, змінюючи свою поведінку щодо певних поїздок.

Короткотермінова реакція: за короткий період потенційні чи наявні пасажирки можуть реагувати на зміни у тривалості поїздки від пункту до пункту, змінюючи структуру їхнього пересування в декілька різних способів:

- Зміна пункту призначення поїздки – люди можуть вибирати інші пункти призначення поїздки, особливо для особистих (неробочих) поїздок.
- Зміна схеми поєднання подорожі – люди можуть змінювати зупинку, з якої вони починають маршрут.
- Зміна частоти поїздок – люди можуть змінювати частоту здійснення поїздок, наприклад вирушаючи за покупками кожного дня, а не один раз на тиждень.

У всіх трьох випадках люди реагують на відчутні зміни у тривалості подорожі, змінюючи свої схеми здійснення поїздки (згідно з четвертою властивістю індукованого попиту, вони застосовують схему здійснення поїздки, яка є відмінною від тої, яку б вони могли здійснити, якби не відбулася зміна у пропускній здатності транспортної системи).

Довготермінові зміни – за тривалий період наявні чи потенційні пасажирів можуть змінити місце проживання чи праці для того, щоб користуватись перевагами скорочення часу подорожі від пункту до пункту. В сукупності, ці зміни у попиті на місце розташування можуть, у свою чергу, впливати на ринок нерухомості і ті ділянки, які забудовники чи місцеві органи планування виводять на ринок нерухомості.

Непрямий індукований рух стосується збільшення транспортних послуг, яке б не виникло, якби покращення системи не відбулося, але яке не є результатом свідомого вибору пасажирів у відповідь на відчутні зміни у тривалості чи надійності поїздки. Можна виявити принаймні три механізми, які непрямо індукують попит: вплив мережі, вплив стилю життя і вплив ринку.

Вплив мережі: рішення наявних або потенційних пасажирів у відповідь на рішення інших людей щодо зміненої тривалості подорожі від пункту до пункту. Прикладом впливу мережі може бути рішення пасажирів використовувати магістраль (як новий маршрут до старого пункту призначення або як маршрут до нового пункту призначення), коли скупчення транспорту вздовж цієї магістралі стало меншим в результаті відкриття нового, паралельного сегменту автомагістралі. У цьому прикладі індукований попит на транспортні послуги проявляється у місці, де фактичного розширення пропускної здатності системи не було, і через поведінку особи, яка, фактично, безпосередньо ніколи не відчувала впливу удосконалень.

Вплив стилю життя: вплив стилю життя стосується рішень наявних чи потенційних пасажирів у відповідь на удосконалення транспортної системи здійснити зміни, які фактично будуть кардинальними або частковими змінами у стилі життя. У свою чергу, ці зміни можуть змусити людей здійснювати більше поїздок, у порівняння із тим, коли б такої зміни стилю життя не відбулося б.

Прикладами можуть бути зміна транспортного засобу і місця проживання. Бажання отримати вигоду від зменшення тривалості подорожі може стимулювати деякі сім'ї або підприємства придбати транспортні засоби, щоб автомобілем чи іншим ТЗ замінити існуючі способи пересування. Подорож, пов'язана з цими поїздками, буде вважатися прямо індукованим рухом. Однак, володіючи автомобілем, від користування яким сім'я могла відмовитися, члени цієї сім'ї можуть здійснювати додаткові поїздки автомобілем, не пов'язані з метою його придбання, і тому це створює додаткові поїздки, які є індукованими непрямо.

Додаткові поїздки пов'язані з ефектом фіксованих затрат (затрат, які не залежать від фактичного користування автомобілем: придбання транспортного засобу, його реєстрація, страхування, зберігання). Вони відрізняються від змінних затрат, які виникають при використанні транспортного засобу (пальне, плата за користування дорогою, за паркування тощо). Чим більша частина узагальнених затрат відноситься до фіксованих, тим більше буде здійснено поїздок, тому що середні витрати на одну поїздку або на один пройдений кілометр можуть бути зменшені шляхом збільшення сумарної кількості здійснених поїздок або пройдених кілометрів.

Вплив ринку: інвестиції у транспортну систему впливають також на розрахунки доступу підприємств до резерву робочої сили та до клієнтської бази роздрібною торгівлі. Наприклад, власник магазинів роздрібною торгівлі із загальною стратегією бути в межах 20-хвилинної поїздки від 50 тис. потенційних клієнтів робитиме вибір щодо місця розташування магазину, спираючись на особливості транспортної мережі. Дотримуючись цієї стратегії, фірми роздрібною торгівлі можуть мимоволі індукувати рух. По-перше, закриваючи зайві магазини у відповідь на зміни у транспортній мережі, вони можуть спонукати мешканців здійснювати довші (якщо не в часі, то за відстанню) поїздки. Також такі зміни можуть сприяти рішенню мешканців придбати авто чи інший моторизований ТЗ.

Управління попитом на транспортні послуги

Управління попитом на транспортні послуги – це стратегія, метою якої є максимізація ефективності міської транспортної системи шляхом зменшення рівня користування приватним транспортом та заохочення до нешкідливих для здоров'я та довкілля видів транспорту, а саме громадського і немоторизованого. Це комплекс заходів, які застосовуються з метою впливу на пасажирів, щоб знизити чи перерозподілити попит на перевезення.

Окремі компоненти системи перевезень є незбалансованими за ціною. Високі фіксовані затрати на приватний автомобіль спонукають їх власників максимізувати пробіг, щоб він відповідав його вартості. Відповідно, пасажери автобуса теж страждають від заторів, хоча їм на дорозі потрібно значно менше місця, ніж пасажирам автомобіля. УПТ сприяє виправленню цієї ситуації, створюючи більш дієву і пропорційну систему перевезень. В результаті цього виграють як користувачі громадського транспорту, так і самі автомобілісти.

Очевидно, що міська територія потребує якісної вулично-дорожньої мережі. Проте нові дороги приваблюють автомобілістів і знижують перспективи громадського транспорту. Відповідно, транспортні переваги зводяться нанівець через появу нових заторів. Жодні темпи будівництва нових доріг не можуть встигати за темпами зростання рівня автомобілізації, не говорячи вже про необхідну площу для них. Тому управління попитом на транспортні послуги повинне знижувати сукупний обсяг транспорту та підтримувати екологічніші види переміщень. Такі заходи сприятимуть зниженню транспортних заторів, зменшенню негативного впливу на довкілля та здоров'я громадян та створенню додаткового доходу для покращення перевезень громадським транспортом та немоторизованих перевезень завдяки тарифним механізмам.

Ефективним засобом вирішення питань в сфері перевезень та підвищення ефективності транспортної системи може бути цінова політика. Однак, щоб бути ефективними, ціни мають відображати такі принципи:

- вибір для споживачів: споживачі повинні мати повноцінний вибір комбінацій кількості, якості і ціни, які найбільше відповідають їх потребам. Наприклад, підвищення вартості паркування може мати тільки незначний вплив на обсяги руху, якщо немає повноцінної альтернативи у вигляді високоякісного громадського транспорту;

- ціни, пов'язані з видатками: щоб бути ефективними, ціни на товари мають відображати зростаючі витрати на виробництво цих товарів, включно з прямими та непрямими витратами. Наприклад, яким би високоякісним не був громадський транспорт, але при невиправдано низьких витратах на користування приватним автомобілем ніхто на нього не пересяде;

- економічна нейтральність: державна політика має однаково ставитися до порівнюваних товарів, тобто, наприклад, в питаннях інвестицій, регулювання і дотацій не потрібно надавати перевагу автомобільному транспорту над іншими видами пересування.

Перед тим, як аналізувати окремі заходи УПТ, потрібно чітко визначити чинники, які впливають на попит на перевезення:

- добробут і рівень володіння транспортними засобами;
- наявність та якість доріг і місць для паркування;
- ціни (пальне, платні дороги, паркування, транзитні перевезення);
- відносна швидкість та зручність пересування приватним та громадським транспортом;
- умови для пішохідного та велосипедного руху;
- схеми забудови землі;
- звички і очікування подорожуючих.

Заходи УПТ аналізують цілу низку аспектів впливу, і не всі з них безпосередньо стосуються транспорту. Також заходи УПТ по-різному впливають на пересування. У відповідь на ці заходи особа може змінити маршрут, транспортний засіб або час поїздки. Можна просто рідше подорожувати чи обирати ближчі пункти призначення. Коли ж певна кількість людей змінює в такий спосіб характер свого пересування, проявляються такі широкомасштабні результати, як зменшення щільності руху, схеми компактного використання землі та життєдайний громадський транспорт.

Загалом заходи управління попитом поділяють на 4 основні групи:

- розширення альтернатив руху;
- економічні заходи;
- політика раціонального використання землі;
- інші програми.

До способів розширення альтернатив руху відносять вдосконалення громадського транспорту, пішохідного та велосипедного руху, маркетингові програми регулювання мобільності, пріоритетні смуги для транспорту з високою пасажиромісткістю, гнучкий графік роботи, служби прокату автомобілів, велосипедів, вдосконалення служб таксі.

Економічні заходи полягають у впровадженні збору за перевантаження доріг, врегулювання цін і правил паркування, підвищення податку на пальне.

Політика раціонального використання землі полягає у раціональній забудові, її ефективному розміщенні, плануванні житлових зон, вільних від автомобілів, заходах заспокоєння руху.

Більшість заходів УПТ мають поодинокий вплив на кілька відсотків загального руху транспорту на певній території. Тому для досягнення вагомих результатів потрібно розробити *комплексну стратегію УПТ*, яка включає певний спектр

заходів. Комплексна стратегія УПТ може мати синергетичний ефект, тобто, її сукупний результат буде більшим, ніж сума результатів окремих індивідуальних заходів.

Для максимальної ефективності комплексна стратегія УПТ потребує як позитивних, так і негативних стимулів, які слід застосовувати паралельно. До позитивних стимулів («Перевага») відносять заходи покращення альтернатив пересування, до негативних («Наступ») – платні дороги та стоянки, обмеження автомобільного руху.

Існує багато шляхів розширення альтернатив мобільності, серед яких ширший вибір місця і часу, коли ці альтернативи наявні, підвищення їх комфортності, краща доступність, ширший доступ до інформації. Покращення зв'язків між різними видами транспорту також покращує альтернативи мобільності, наприклад, стоянки для велосипедів на зупинках громадського транспорту.

Прикладами заходів типу «Наступ» можуть бути:

- територіальна ліцензія: водії купують денну ліцензію, щоб в'їхати на певну територію (наприклад, в центр міста – функціонує в Лондоні);

- платна кільцева дорога: весь транспорт, який в'їжджає в центральну зону, обмежену кільцем, вносить абонентську плату (функціонує, зокрема, в Флоренції, Римі, Осло, Сінгапурі, Стокгольмі);

- влаштування «зон мінімальних викидів», в яких обмежують, забороняють чи стягують підвищену плату за проїзд автомобілів з метою зменшення викидів в атмосферу та покращення умов для інших користувачів міської ВДМ (приклади – історичний центр Болоньї, центр Лондона).

Прогнозування пасажиропотоків

При організації перевізного процесу потрібно враховувати, що пасажирські потоки характеризуються часовою та просторовою нерівномірністю, викликаючи змінне навантаження на транспортну систему.

Просторова нерівномірність характеризується зміною кількості пасажирів, що перевозяться на різних напрямках, а *часова нерівномірність* – зміною інтенсивності пасажиропотоку відповідно до сезонів року, місяців, днів тижня та годин доби. Для оцінки коливань пасажиропотоків використовують коефіцієнти просторової та часової нерівномірності, які розраховуються як відношення максимального пасажиропотоку до його середнього значення.

Всі коливання пасажиропотоків поділяються на випадкові та закономірні. Випадкові зміни можуть виникати через різні причини: зміна напрямку маршруту,

тимчасова заборона руху у зв'язку з ремонтними роботами чи іншими причинами, погодні умови тощо. В більшості випадків такі коливання є локальними та не впливають на обсяги перевезень в цілому. Закономірні коливання є зазвичай глобальними і відображаються на функціонуванні транспортної системи певної території. Вивчення закономірних коливань дозволяє прогнозувати пасажиропотоки.

Прогноз пасажиропотоку – це ймовірнісна оцінка перспективних обсягів пасажиропотоків з відносно високим ступенем достовірності.

Часові координати прогнозу називають горизонтом прогнозування. Залежно від горизонту прогнозування транспортні процеси поділяють на процеси швидкого перебігу (глибина прогнозування таких процесів не перевищує тижня), середньої швидкості (сезонний часовий горизонт, місячний або тижневий) та повільні (тривалі прогнози мінімум на 2 роки).

Загалом всі методи прогнозування можна поділити на три основних групи:

- інтуїтивні методи (основані на індивідуальних чи колективних оцінках експертів – метод інтерв'ю, метод анкетування, евристичне прогнозування тощо);
- формалізовані методи (екстраполяційні та системно-структурні – експоненційне згладжування, матричний метод, мережеве моделювання, дерево цілей тощо);
- математичні методи (кореляційний та регресійний аналізи, факторний аналіз тощо).

Методи Хольта і Брауна полягають у вдосконаленні методу експоненційного згладжування – експоненційне згладжування тут використовується для згладження загального рівня та оцінки тенденції. Розширення цього методу до трьохпараметричного експоненційного згладжування називається методом Вінтерса. Цей метод дозволяє враховувати також і сезонні коливання.

Згідно з моделлю Вінтерса, розраховують чотири показники адитивної сезонної моделі:

Показник згладжування початкового ряду:

$$L_t = \frac{\alpha \cdot y_t}{s_{t-s}} + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (1.1)$$

Показник згладжування тренду:

$$T_t = \beta \cdot (L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (1.2)$$

Оцінка сезонності:

$$S_t = \frac{\gamma \cdot y_t}{L_t} + (1 - \gamma)S_{t-s} \quad (1.3)$$

Прогноз на p періодів наперед:

$$y_{t+p}^* = (L_t + p \cdot T_t) \cdot S_{t-s+p} \quad (1.4)$$

Де L_t - згладжене значення ряду;

α - параметр згладжування даних;

y_t - фактичне значення показника для періоду t ;

β - параметр згладжування для оцінки тренду;

T_t - оцінка тренду;

γ - параметр згладжування для оцінки сезонності;

S_t - оцінка сезонності;

p - кількість періодів, на які будується прогноз;

s - тривалість періоду сезонних коливань.

Параметри згладжування мають відповідати умовам:

$$0 \leq \alpha \leq 1$$

$$0 \leq \beta \leq 1$$

$$0 \leq \gamma \leq 1$$

Приклад: на основі даних про місячні обсяги перевезень пасажирів міським автобусним транспортом протягом трьох років (таблиця 2) зробити прогноз на наступний рік з використанням моделі Вінтерса.

Розв'язання:

Для першого періоду показник згладжування початкового ряду дорівнює першому значенню цього ряду. Тобто, для автобусних перевезень для січня 2017 р. експоненційний показник згладжування становить 7145 тис. пас. Для лютого 2017 р. показник згладжування визначатиметься за формулою:

$$L_t = \frac{\alpha \cdot 7411}{s_{t-s}} + (1 - \alpha)(7145 + T_{t-1}) \quad (1.5)$$

Оцінка сезонності для першого року приймається рівною 1.

Значення тренду для першого періоду рівне 0.

При параметрі згладжування $\alpha = 0,5$:

$$L_{t.лютий} = \frac{0,5 \cdot 7411}{1} + (1 - 0,5) \cdot (7145 + 0) = 7278 \text{ тис. пас.} \quad (1.6)$$

Значення тренду для лютого 2017 р:

$$T_{t.лютий} = \beta \cdot (7278 - 7145) + (1 - \beta) \cdot 0 \quad (1.7)$$

При параметрі згладжування $\beta = 0,9$:

$$T_t = 0,9 \cdot (7278 - 7145) + (1 - 0,9) \cdot 0 = 120 \text{ тис. пас.} \quad (1.8)$$

Для березня:

$$L_{t.березень} = \frac{0,5 \cdot 8238}{1} + (1 - 0,5) \cdot (7278 + 120) = 7818 \text{ тис. пас.} \quad (1.9)$$

$$T_{t.березень} = 0,9 \cdot (7818 - 7278) + (1 - 0,9) \cdot 120 = 498 \text{ тис. пас} \quad (1.10)$$

Оцінка сезонності для січня 2018 р:

$$S_t = \frac{\gamma \cdot 6411}{6930} + (1 - \gamma) \cdot 1 \quad (1.11)$$

При параметрі згладжування $\gamma = 0,5$:

$$S_{t.січень} = \frac{0,5 \cdot 6411}{6930} + (1 - 0,5) \cdot 1 = 0,96 \quad (1.12)$$

$$S_{t.лютий} = \frac{0,5 \cdot 6572}{6426} + (1 - 0,5) \cdot 1 = 1,01 \quad (1.13)$$

Результати решти проведених розрахунків подано в таблиці 2.

Таблиця 2 - Розрахунки показників адитивної сезонної моделі для динамічного ряду пасажиропотоків автобусним громадським транспортом

Рік	Місяць	Пасажиропотік, тис. пас	Lt = експоненційно згладжений ряд	Tt = значення тренду	St-s — коефіцієнт сезонності попереднього періоду
2 017	січень	7145	7145		1,00
	лютий	7411	7278	120	1,00
	березень	8238	7818	498	1,00
	квітень	7248	7782	17	1,00
	травень	7867	7833	48	1,00
	червень	7613	7747	-73	1,00
	липень	7274	7474	-253	1,00
	серпень	7117	7169	-300	1,00
	вересень	7534	7202	-1	1,00
	жовтень	8073	7637	392	1,00
	листопад	7699	7864	243	1,00
грудень	7159	7633	-184	1,00	
2 018	січень	6411	6930	-651	0,96
	лютий	6572	6426	-519	1,01
	березень	7408	6657	157	1,06
	квітень	7020	6917	249	1,01
	травень	7509	7338	403	1,01

Рік	Місяць	Пасажиропотік, тис. пас	L_t = експоненційно згладжений ряд	T_t = значення тренду	S_{t-s} — коефіцієнт сезонності попереднього періоду
	червень	6921	7331	34	0,97
	липень	7079	7222	-94	0,99
	серпень	7173	7150	-74	1,00
	вересень	7644	7360	181	1,02
	жовтень	8461	8001	595	1,03
	листопад	8334	8465	477	0,99
	грудень	8457	8700	259	0,99
2 019	січень	7849	8556	-103	0,94
	лютий	7018	7696	-785	0,96
	березень	7656	7079	-633	1,07
	квітень	7292	6842	-277	1,04
	травень	7856	7165	263	1,05
	червень	7179	7407	244	0,97
	липень	7391	7558	160	0,98
	серпень	7062	7385	-140	0,98
	вересень	7517	7310	-81	1,02
	жовтень	7777	7394	68	1,04
	листопад	7578	7549	147	1,00
	грудень	7672	7738	184	0,99

Прогноз на наступні 12 місяців 2020 року проводиться за формулою:

$$y_{t+p}^* = (L_t + p \cdot T_t) \cdot S_{t-s+p} \quad (1.14)$$

Прогнозовані значення пасажиропотоку для автобусного транспорту:

- для січня 2020 р:

$$y_{січень}^* = (7738 + 1 \cdot 184) \cdot 0,94 = 7447 \text{ тис. пас} \quad (1.15)$$

- для лютого 2020 р:

$$y_{січень}^* = (7738 + 1 \cdot 184) \cdot 0,96 = 7796 \text{ тис. пас} \quad (1.16)$$

Аналогічно проводяться решта розрахунків, результати наведено в таблиці 3.

Таблиця 3 - Результати прогнозування пасажиропотоків на автобусному транспорті на 2020 р

Місяць	Прогнозовані значення пасажиропотоку, тис. пас	Місяць	Прогнозовані значення пасажиропотоку, тис. пас
січень	7447	липень	8885

лютий	7796	серпень	9020
березень	8863	вересень	9622
квітень	8786	жовтень	9969
травень	9128	листопад	9748
червень	8585	грудень	9840

Якість прогнозування оцінюється такими показниками:

- точність прогнозування:

$$K_m = \frac{\Delta\varepsilon}{y_\phi} = \frac{y_{np} - y_\phi}{y_\phi} \quad (1.17)$$

де $\Delta\varepsilon$ - величина помилки прогнозування;

y_ϕ, y_{np} - відповідно фактичне та прогнозоване значення пасажиропотоку за певний період.

- коефіцієнт невідповідності:

$$u = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{n_i} - y_{\phi_i})^2}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{n_i}^2 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{\phi_i}^2}} \quad (1.18)$$

При значенні $u=0$ прогноз вважається абсолютно точним, при $u=1$ - абсолютно невдалим.

- коефіцієнт кореляції:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1.19)$$

Де x_i - i -те значення показника, від якого залежить прогнозована величина пасажиропотоку;

y_i - i -те значення фактичної величини пасажиропотоку;

n - кількість спостережень.

При $0 < |r| < 0.2$ між прогнозовою величиною та показником, від якого вона залежить, зв'язку немає, при $0.2 \leq |r| < 0.5$ зв'язок слабкий, при $0.5 \leq |r| < 0.75$ зв'язок середній, при $0.75 \leq |r| < 0.95$ зв'язок сильний, а при $0.95 \leq |r| \leq 1$ спостерігається практично функціональний зв'язок.

- стандартна помилка прогнозу:

$$S_y = \sigma_y \sqrt{1 - r^2} \quad (1.20)$$

$$\text{Де } \sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n}} \quad (1.21)$$

Якщо кількість спостережень $n \leq 30$, то стандартна похибка коефіцієнта кореляції визначається за формулою:

$$\sigma_r = \frac{1 - r^2}{\sqrt{n - 1}} \quad (1.22)$$

Зв'язок між прогнозованою величиною y та змінною x може вважатися встановленим, якщо $\frac{r}{\sigma_r} \geq 3$.

Застосовуються також комбінації запропонованих показників.

Приклад: оцінити точність прогнозу, отриманого в попередньому прикладі.

Розв'язання: Для оцінки точності прогнозу спершу розраховується показник помилки моделі як різниця між фактичним та прогнозованим значенням прогнозу. Прогнозовані значення для місяців 2017 та 2018 років визначатимуться як сума експоненційно згладженого показника та значення тренду за попередній місяць, а для 2019 року - як така ж сума, але помножена на коефіцієнт сезонності цього періоду в попередньому сезоні.

Відхилення помилки моделі від прогнозої визначається за формулою:

$$\eta = \frac{(\Delta \varepsilon)^2}{y_{\phi}^2} \quad (1.23)$$

Точність прогнозу визначається відніманням від одиниці середнього значення відхилень:

$$\eta = 1 - \bar{\eta}_t \quad (1.24)$$

Чим ближче значення точності прогнозу до 100%, тим краще. За таким принципом обирають і параметри згладжування.

Результати розрахунків параметрів точності прогнозу подано в таблиці 4.

Таблиця 4 - Розрахунки параметрів точності прогнозу пасажиропотоку на автобусному транспорті на 2020 рік

Рік	Місяць	Прогнозоване значення	Помилка моделі	Відхилення помилки моделі
2017	січень	7 145	0	-

Рік	Місяць	Прогнозоване значення	Помилка моделі	Відхилення помилки моделі
	лютий	7 145	266	0,001
	березень	7 398	840	0,010
	квітень	8 316	-1068	0,022
	травень	7 799	68	0,000
	червень	7 881	-268	0,001
	липень	7 674	-400	0,003
	серпень	7 221	-104	0,000
	вересень	6 870	664	0,008
	жовтень	7 201	872	0,012
	листопад	8 029	-330	0,002
	грудень	8 107	-948	0,018
2018	січень	7 449	-1038	0,026
	лютий	6 280	292	0,002
	березень	5 906	1502	0,041
	квітень	6 814	206	0,001
	травень	7 166	342	0,002
	червень	7 741	-820	0,014
	липень	7 365	-286	0,002
	серпень	7 128	45	0,000
	вересень	7 076	567	0,006
	жовтень	7 541	920	0,012
	листопад	8 596	-262	0,001
	грудень	8 942	-485	0,003
2019	січень	8 623	-774	0,010
	лютий	8 549	-1532	0,048
	березень	7 301	355	0,002
	квітень	6 494	798	0,012
	травень	6 642	1214	0,024
	червень	7 220	-41	0,000
	липень	7 575	-184	0,001
	серпень	7 730	-668	0,009
	вересень	7 384	133	0,000
	жовтень	7 436	340	0,002
	листопад	7 404	175	0,001
грудень	7 589	83	0,000	
Середнє значення відхилення від помилки прогнозу				0,0084

Точність прогнозу становить:

$$\eta = 1 - 0,008 = 0,992 \quad (1.25)$$

1.3. Моделювання попиту на транспортні послуги 1.3. Demand modeling for transport services

Загальні положення моделювання попиту на транспортні послуги

Моделі транспортного попиту призначені для прогнозування потреб населення в переміщенні з розподілом за типами переміщень, часом дня, тривалістю переміщення та призначенням пересування.

Моделі транспортного попиту поділяють на такі основні види:

- загальні моделі;
- моделі пересувань з розбивкою;
- моделі подорожей;
- моделі активностей;
- моделі «землекористування-транспорт».

Загальні моделі кваліфікують пересування як функцію ємності транспортного району. Кількість переміщень, що генеруються транспортним районом, пропорційна до кількості населення в районі, а кількість переміщень, які притягуються районом, пропорційна до кількості точок притягання. Ймовірність виконання переміщення між парою транспортних районів розглядається як обернено пропорційне до відстані (чи часу переміщення) між районами («опір» переміщенню).

Моделі пересувань з розбивкою (disaggregate models) – це моделі, які розглядають індивіда (або домашнє господарство чи фірму) як одиницю прийняття рішення. Тобто, моделі з розбивкою враховують вплив соціодемографічних характеристик особи (вік, стать, сімейний стан, зайнятість тощо) або характеристик фірми на вибір, пов'язаний з переміщенням. Тому на практиці, через обмеження обсягів даних, моделі пересувань з розбивкою іноді навіть в наш час реалізовані в узагальненому вигляді з загальними районними соціодемографічними даними.

Крім того, моделі пересувань з розбивкою мають певні обмеження. Найбільш критичним з цих обмежень є той факт, що моделі пересувань не розглядають взаємозв'язки між пересуваннями. Наприклад, поїздка з дому на роботу в моделі пересувань розглядається незалежною від зворотної поїздки з роботи додому, при цьому обидві поїздки класифікуються як робочі з базуванням в місці проживання. Моделі подорожей були розроблені для вирішення цього обмеження.

Більшість *моделей подорожей (travel models)*, які використовуються в даний час, використовують чотирьохетапний підхід до моделювання переміщень. Усі індивідуальні переміщення розподіляються на ті, які відносяться до місця проживання, та ті, які не відносяться до місця проживання. Наприклад, робоча

поїздка з закріпленням до місця проживання означає переміщення з дому на роботу та назад додому. Моделі подорожей зазвичай розглядають наступні цілі переміщень з закріпленням до дому: робота, навчання, покупки, особисті справи та інші. Всі решта переміщень без закріплення за місцем проживання (наприклад, переміщення з роботи до місця обіду або з одного місця покупок до іншого) класифікуються за двома цілями: робочі без закріплення до місця проживання та інші без закріплення до місця проживання.

Моделі подорожей теж мають певні обмеження. По-перше, вони продовжують нехтувати зв'язками між переміщеннями. Наприклад, якщо особа під час переміщення з роботи додому зупиняється в магазині, це буде оцінено моделлю подорожей як одна робоча поїздка з закріпленням до місця проживання і одне переміщення «інше» без закріплення до місця проживання. По-друге, моделі подорожей часто нехтують специфічними пересуваннями (наприклад, відвезення дітей до школи чи переміщення до вузлів зовнішнього транспорту). По-третє, моделі подорожей не розглядають потенційні компроміси в цілях пересувань. Відповідно, ключовим недоліком моделей подорожей є те, що вони не є поведінково реалістичні.

Рішенням до обмежень, якими володіють моделі подорожей, є підхід на основі парадигми активностей. *Моделі активностей (activity-based demand models)* припускають той факт, що потреби в пересуванні населення визначаються їхніми потребами участі в активностях, які поширюються в часі та просторі. Отже, шаблони активності індивідів, як вдома, так і поза межами місця проживання, впливають на шаблони пересувань цих індивідів. Наприклад, якщо особа бере участь в інтернет-торгівлі вдома, то її активність вдома може задовольняти потреби в покупках і вона може, як результат, не здійснювати пересування до торгового центру. При детальному розрахунку потреб населення в пересуванні важливим є змодельовати шаблони активності–пересування населення (*шаблон активність-пересування* індивіда визначається як вичерпний перелік активностей особи за день з зазначенням місця розташування, часу дня та типу пересування між місцями призначень). Після цього важливим є припущення, що перебування людей в якійсь активності не є окремими і вони можуть широко взаємодіяти одне з одним. Тому шаблони активності-пересування індивідів перебувають під впливом аналогічних шаблонів інших індивідів, а особливо під впливом таких шаблонів інших членів домашнього господарства.

Моделі цього типу, очевидно, є більш складними, ніж ті, що описані раніше, і спрямовані на розуміння взаємозв'язку між попитом на поїздки та організацією

різних видів діяльності людини та її сім'ї. Ці моделі в даний час знаходяться на стадії досліджень і практично застосовуються тільки на рівні мікросимуляційних моделей.

Переміщення є наслідком потреби у взаємодії домашніх господарств та бізнесів між собою та з середовищами. Зокрема, воно є результатом логістичних потреб фірми та потреб індивіда (праця, навчання, покупки та відпочинки в місцях, які розподілені в просторі). Зрозуміло, що просторова конфігурація міської системи (так званий *шаблон землекористування*) впливає на рішення індивідів про переміщення. Наприклад, якщо місто пропонує можливості покупок тільки в межах певної території, то домашні господарства будуть змушені здійснювати переміщення в той район. Домашнє господарство, яке знаходиться далеко від торговельного кварталу, в такому випадку буде мати більший стимул до використання приватного автотранспорту. Для врахування таких чинників розроблені моделі «землекористування – транспорт» (*land use - transportation*). Їх поділяють на статичні моделі (розглядають землекористування і транспорт як екзогенні системи), динамічні моделі (розцінюють системи землекористування та транспорту ендогенно) та інтегровані моделі.

Моделювання попиту на переміщення у PTV Visum з використанням класичної чотирьохетапної моделі

У PTV Visum попит можна моделювати з допомогою трьох процедур:

- Класична чотирьохетапна модель.
- Модель EVA (розроблена професором Лозе (Lohse)). Її особливістю у порівнянні з класичною чотирьохетапною моделлю є те, що розподіл транспортного руху і вибір режиму проводяться одночасно.
- Модель VISEM. Особливостями цієї моделі є те, що один шар попиту може містити тільки одну групу і тільки один ланцюжок дій, а розрахунок попиту проводиться залежно від періоду доби з точністю до години.

Результатом проведення цих процедур є матриці, які містять кількість поїздок між районами джерела та цілі.

Модель транспортного попиту складається з об'єктів попиту, які містять всю необхідну інформацію. Типи об'єктів попиту, які виділяють у PTV Visum, подано в таблиці 5.

Таблиця 5 – Об'єкти попиту у PTV Visum

Об'єкт попиту	Коротка характеристика об'єкта попиту
Матриці	Поділяються на матриці кореспонденцій (в них міститься інформація про транспортний попит між транспортними районами) та матриці

Об'єкт попиту	Коротка характеристика об'єкта попиту
	затрат (містять інформацію про різні параметри витрат, наприклад, час руху між транспортними районами).
Сегменти попиту	Група попиту на транспорт, яка перерозподіляється в мережі за один крок (наприклад, працюючі). Сегмент попиту може належати тільки одному режиму.
Криві попиту	Характеризують розподіл попиту в часі. Виділяють два типи кривих попиту: <ul style="list-style-type: none"> - крива попиту номерів матриць (вибір кількох матриць, які утворюють криву попиту); - відсоткова крива попиту (відсотковий розподіл однієї матриці кореспонденцій по часових періодах). Криві попиту враховуються в перерозподілах громадського транспорту та динамічних перерозподілах індивідуального транспорту.
Моделі попиту	Математичні моделі, що використовуються для розрахунку величини попиту.
Групи	Поведінково однотипні групи населення (наприклад, працюючі з власним транспортом, працюючі без власного транспорту, учні, студенти, непрацюючі тощо).
Дії, пари дій, ланцюжки дій	Дії – це причини переміщень, наприклад робота, навчання, покупки тощо. Пари дій відповідають шляху між двома діями, наприклад, дім – робота, дім – навчання тощо. Ланцюжок дій – це послідовність пар дій, наприклад, дім – робота – магазин – дім.
Шари попиту	З'єднують ланцюжок дій з однією чи кількома групами. Наприклад, поїздки працюючих з дому на роботу, поїздки працюючих з дому за покупками тощо.

Для застосування 4-етапної моделі територія планування поділяється на транспортні райони. Кількість та величина транспортних районів впливають на результати моделювання: чим більша кількість районів, тим точніші результати, але необхідний більший обсяг вхідних даних, розрахунків та комп'ютерного часу, чим менша кількість районів, тим менша точність, проте нижчі вимоги до моделі.

Матриці кореспонденцій можуть бути отримані шляхом проведення натурних обстежень, але це дуже трудомісткий процес. Тому для відображення реальних умов використовують математичні моделі, які розраховують транспортні чи пасажирські потоки між районами на основі даних про інфраструктуру, склад і структуру зайнятості населення, а також даних про транспортну пропозицію. Одним з таких методів є гравітаційний метод.

Розрахунок матриці кореспонденцій гравітаційним методом складається з таких етапів:

1. Досліджувана територія поділяється на транспортні райони, для яких визначаються такі характеристики, як кількість жителів (з розподілом на групи) та кількість і привабливість пунктів тяжіння.

2. Формується матриця відстаней між транспортними районами в досліджуваній системі транспорту.

3. Розраховується матриця складності сполучення пасажирів між транспортними районами:

$$c_{ij} = \frac{1}{l_{ij}} \quad (1.26)$$

Де l_{ij} - довжина найкоротшого пересування між районами транспортною або маршрутною мережею, км.

4. Розраховується ємність транспортних районів за прибуттям:

$$HD_j = \eta_1 \cdot N_j^w + \eta_2 \cdot N_j^s + \eta_3 \cdot N_j^r \quad (1.27)$$

Де N_j^w, N_j^s, N_j^r - кількість місць роботи, місць навчання та місць відвідувань з культурно-побутовою метою в кожному транспортному районі;

η_1, η_2, η_3 - частка пересувань (трудових, навчальних і культурно-побутових), які виконуються в кожен район в пікову годину.

5. Розраховується ємність транспортних районів за відправленням:

$$HO_i = N_i \cdot \frac{\sum_{j=1}^n HD_j}{N_p} \quad (1.28)$$

Де N_i - кількість жителів в кожному транспортному районі;

N_p - загальна кількість жителів території проектування (сума кількостей жителів всіх транспортних районів).

6. Матриця міжрайонних кореспонденцій при використанні гравітаційної моделі розраховується за формулою:

$$H_{ij} = HO_i \frac{HD_j \cdot c_{ij} \cdot k_j}{\sum_{j=1}^n HD_j \cdot c_{ij} \cdot k_j} = HO_i \frac{D_{ij}}{\sum_{j=1}^n D_{ij}} \quad (1.29)$$

Розрахунок матриці міжрайонних кореспонденцій – це ітераційний процес. На першій ітерації значення коефіцієнта балансування приймається рівним $k_j = 1$. Розрахунок матриці міжрайонних кореспонденцій – це ітераційний процес. На першій ітерації значення коефіцієнта балансування приймається рівним $k_j = 1$.

7. Перевіряється умова балансу розрахованих місткостей транспортних районів:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n HO_i &= \sum_{i=1}^n HD_j \\ \sum_{j=1}^n H_{ji} &= HO_i \\ \sum_{i=1}^n H_{ji} &= HD_j \end{aligned} \quad (1.30)$$

Якщо всі три умови дотримано, розрахунок матриці міжрайонних кореспонденцій вважається завершеним. Якщо котрась з умов не виконується, потрібно оцінити відхилення між початковою величиною ємкостей транспортних районів за відправленням (при недотриманні другої умови) чи за прибуттям (при недотриманні третьої умови) та ємкостей, отриманих в результаті розподілу кореспонденцій за гравітаційною моделлю. Величина відхилення не повинна перевищувати 5%. Розрахунок відхилення проводиться за такою формулою:

$$\begin{aligned} \Delta_i &= \frac{|HO_i^p - HO_i|}{HO_i} \cdot 100\% \\ \Delta_j &= \frac{|HD_j^p - HD_j|}{HD_j} \cdot 100\% \end{aligned} \quad (1.31)$$

7. Якщо хоча б для одного з районів значення відхилення більше 5%, то проводиться розрахунок коефіцієнтів балансування за формулою:

$$\begin{aligned} k_i &= \frac{HO_i}{HO_i^p} \\ \text{або} \\ k_j &= \frac{HD_j}{HD_j^p} \end{aligned} \quad (1.32)$$

8. Проводиться розрахунок матриці міжрайонних кореспонденцій з врахуванням отриманих значень коефіцієнтів балансування (друга ітерація).

Приклад: Розрахувати матрицю кореспонденцій між транспортними районами гравітаційним способом при таких початкових даних:

№ району	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Населення, осіб	691	726	454	415	204	308	551	458	1198	658
Кількість місць праці	183	165	182	343	330	270	155	173	414	196
Кількість місць навчання	471	119	475	128	159	383	68	17	430	132
Кількість місць відвідування	444	348	630	346	581	304	218	630	473	281

Частка трудових переміщень, визначена на основі статистичних даних, становить $\eta_1 = 0,8$, частка навчальних переміщень - $\eta_2 = 0,7$, частка культурно-побутових переміщень - $\eta_3 = 0,1$.

Розв'язання: Матриця відстаней між транспортними районами, побудована в PTV Visum, подана на рисунку 1.6.

10 x 10	Name	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Sum	19.39	12.47	15.36	14.29	10.45	10.72	12.76	13.43	17.80	13.51
1	19.55	0.50	1.24	1.52	2.11	1.83	2.05	2.43	2.60	3.10	2.18
2	12.63	1.24	0.49	0.93	1.51	0.98	1.08	1.45	1.62	2.12	1.20
3	15.51	1.52	0.93	0.51	1.50	1.21	1.49	1.84	2.03	2.62	1.87
4	13.83	1.95	1.35	1.34	0.35	0.74	1.34	0.99	1.57	2.36	1.84
5	10.45	1.83	0.98	1.21	0.74	0.28	0.63	0.68	1.18	1.77	1.13
6	10.72	2.05	1.08	1.49	1.34	0.63	0.33	0.98	0.69	1.29	0.83
7	12.76	2.43	1.45	1.84	0.99	0.68	0.98	0.38	0.87	1.67	1.48
8	13.43	2.60	1.62	2.03	1.57	1.18	0.69	0.87	0.44	1.15	1.27
9	17.80	3.10	2.12	2.62	2.36	1.77	1.29	1.67	1.15	0.57	1.15
10	13.51	2.18	1.20	1.87	1.84	1.13	0.83	1.48	1.27	1.15	0.55

Рисунок 1.6 - Матриця відстаней між транспортними районами (км)

Ємність першого транспортного району за прибуттям становитиме:

$$HD_1 = 0,8 \cdot 183 + 0,7 \cdot 471 + 0,1 \cdot 444 = 521 \quad (1.33)$$

Розрахунки для решти районів проводяться аналогічно:

№ району	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Сума
----------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	------

Ємність за прибуттям	521	250	541	399	433	515	193	213	680	277	4022
-------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

Ємність першого транспортного району за відправленням:

$$HO_1 = 691 \cdot \frac{4022}{5690} = 488 \quad (1.34)$$

Розрахунки для решти районів проводяться аналогічно:

№ району	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Сума
Ємність за відправленням	488	513	321	293	144	218	389	324	847	484	4022

Проміжні значення D_{ij} розраховуються для кожної пари транспортних районів у вигляді матриці. Для першого району відправки та першого району прибуття це значення становитиме:

$$D_{ij} = \frac{521 \cdot 1}{0,5} = 1042 \quad (1.35)$$

Решта розрахунків проводяться аналогічно, отримана в результаті матриця подана на рисунку 1.7.

10 x 10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Name										
	Sum	3433.41	2302.44	4272.87	3746.35	5458.75	6097.66	1973.57	2026.25	4790.24	2381.92
1		2785.60	1041.93	201.14	356.98	189.13	237.19	250.99	79.56	81.98	219.59
2		3509.26	419.17	508.34	581.97	264.88	442.68	477.83	132.95	131.15	320.36
3		3264.23	343.78	268.93	1064.37	266.56	357.04	346.25	105.00	104.73	259.07
4		3738.25	266.58	185.04	403.26	1145.74	582.34	384.90	195.64	135.82	288.03
5		4957.20	285.39	255.59	446.10	536.61	1530.30	812.24	281.89	180.45	383.87
6		4734.89	253.91	231.96	363.73	298.21	682.92	1538.73	197.29	306.81	529.07
7		3598.02	214.77	172.21	294.32	404.46	632.43	526.44	513.66	243.87	408.18
8		3503.60	200.52	153.93	266.02	254.42	366.82	741.81	220.97	488.44	593.26
9		3047.80	168.24	117.78	206.12	169.01	244.44	400.69	115.85	185.83	1199.99
10		3344.61	239.12	207.52	290.00	217.35	382.59	617.78	130.76	167.18	588.80

Рисунок 1.7 – Побудована у PTV Visum проміжна матриця для розрахунку матриці кореспонденцій (перша ітерація)

Кількість кореспонденцій між першим районом відправки і першим районом прибуття:

$$H_{ij} = 488 \cdot \frac{521 \cdot 1}{0,5 \cdot 2785,6} = 183 \quad (1.36)$$

Результат розрахунку першої ітерації матриці міжрайонних кореспонденцій подано на рисунку 1.8.

10 x 10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Name										
	Sum	441.60	264.22	469.29	362.87	488.51	598.74	203.39	221.21	686.52	284.63
1	487.93	182.51	35.23	62.53	33.13	41.55	43.96	13.94	14.36	38.46	22.27
2	513.04	61.28	74.32	85.08	38.72	64.72	69.86	19.44	19.17	46.84	33.61
3	321.12	33.82	26.46	104.71	26.22	35.12	34.06	10.33	10.30	25.49	14.61
4	293.02	20.90	14.50	31.61	89.81	45.65	30.17	15.34	10.65	22.58	11.83
5	144.01	8.29	7.42	12.96	15.59	44.46	23.60	8.19	5.24	11.15	7.11
6	218.00	11.69	10.68	16.75	13.73	31.44	70.84	9.08	14.13	24.36	15.30
7	389.00	23.22	18.62	31.82	43.73	68.38	56.92	55.53	26.37	44.13	20.29
8	323.96	18.54	14.23	24.60	23.52	33.92	68.59	20.43	45.16	54.86	20.10
9	846.95	46.75	32.73	57.28	46.97	67.93	111.35	32.19	51.64	333.46	66.65
10	483.94	34.60	30.03	41.96	31.45	55.36	89.39	18.92	24.19	85.20	72.85

Рисунок 1.8 – Матриця міжрайонних кореспонденцій (перша ітерація)

Отримана матриця міжрайонних кореспонденцій перевіряється на умови балансу:

$$\sum_{i=1}^n HO_i = \sum_{i=1}^n HD_j \quad (1.37)$$

$$4022 = 4022$$

Перша умова балансу виконується.

Результати перевірки другої та третьої умов балансування і розрахунку відхилень подано в таблиці 6.

Таблиця 6 – Оцінка умов виконання балансу для першої ітерації матриці міжрайонних кореспонденцій

№ району	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\sum_{j=1}^n H_{ji}$	488	513	321	293	144	218	389	324	847	484
HO_i	488	513	321	293	144	218	389	324	847	484
Δ_i	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sum_{i=1}^n H_{ji}$	442	264	469	363	489	599	203	221	687	285
HD_j	521	250	541	399	433	515	193	213	680	277
Δ_j	15.16	5.6	13.3	9.02	12.9	16.3	5.186	3.76	1.03	2.88

Оскільки третя умова не виконується, проводиться перевірка значень отриманих відхилень. Вони мають бути не більші 5%. Як видно з таблиці 6, для районів № 1–7 значення відхилень перевищують допустимі, отже, необхідно проводити другу ітерацію розрахунку матриці міжрайонних кореспонденцій.

Значення коефіцієнта балансування для першого транспортного району:

$$k_j = \frac{521}{442} = 1,179 \quad (1.38)$$

Результати розрахунку всіх коефіцієнтів подано в таблиці 7.

Таблиця 7 – Значення коефіцієнтів балансування (друга ітерація).

№ району	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Коефіцієнт балансування	1.179	0.947	1.154	1.099	0.885	0.860	0.951	0.964	0.990	0.972

Проміжна матриця другої ітерації, розрахована з врахуванням значень коефіцієнтів балансування, подана на рисунку 1.9.

10 x 10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Name										
	Sum	4047.08	2180.34	4928.83	4117.89	4833.62	5242.56	1876.35	1952.90	4741.43	2315.06
1		2959.67	1228.16	190.47	411.78	207.88	210.02	215.79	75.64	79.01	217.35
2		3534.11	494.09	481.38	671.31	291.15	391.99	410.82	126.40	126.40	317.10
3		3396.03	405.22	254.67	1227.78	292.99	316.15	297.70	99.82	100.94	256.43
4		3809.23	314.23	175.23	465.17	1259.36	515.65	330.93	186.00	130.90	285.10
5		4796.00	336.40	242.04	514.58	589.83	1355.06	698.34	268.01	173.91	379.96
6		4523.86	299.29	219.66	419.57	327.78	604.71	1322.95	187.57	295.70	523.68
7		3522.76	253.16	163.08	339.50	444.57	560.01	452.61	488.36	235.04	404.02
8		3410.60	236.36	145.76	306.85	279.65	324.82	637.78	210.09	470.76	587.22
9		3004.45	198.31	111.53	237.76	185.77	216.44	344.50	110.14	179.10	1187.77
10		3279.35	281.86	196.51	334.52	238.91	338.78	531.14	124.32	161.13	582.80

Рисунок 1.9 – Проміжна матриця для розрахунку матриці кореспонденцій (друга ітерація)

Результат розрахунку другої ітерації матриці міжрайонних кореспонденцій подано на рисунку 1.10.

10 x 10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Name										
	Sum	509.12	248.99	535.89	397.90	434.62	519.62	194.93	215.41	685.99	278.61
1		487.95	202.48	31.40	67.89	34.27	34.63	35.58	12.47	13.03	35.83
2		513.02	71.72	69.88	97.45	42.26	56.90	59.64	18.35	18.35	46.03
3		321.00	38.30	24.07	116.05	27.69	29.88	28.14	9.44	9.54	24.24
4		293.02	24.17	13.48	35.78	96.87	39.67	25.46	14.31	10.07	21.93
5		144.00	10.10	7.27	15.45	17.71	40.69	20.97	8.05	5.22	11.41
6		217.99	14.42	10.58	20.22	15.79	29.14	63.75	9.04	14.25	25.23
7		388.97	27.95	18.01	37.49	49.09	61.83	49.98	53.92	25.95	44.61
8		323.96	22.45	13.85	29.15	26.56	30.85	60.58	19.96	44.72	55.78
9		847.13	55.92	31.45	67.04	52.38	61.03	97.14	31.06	50.50	334.90
10		484.05	41.60	29.01	49.38	35.26	50.01	78.40	18.35	23.78	86.02

Рисунок 1.10 – Матриця міжрайонних кореспонденцій (друга ітерація)

Отриману матрицю знову перевіряємо на умови балансу (таблиця 9).

Таблиця 9 – Оцінка умов виконання балансу для другої ітерації матриці міжрайонних кореспонденцій

№ району	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\sum_{j=1}^n H_{ji}$	488	513	321	293	144	218	389	324	847	484
HO_i	488	513	321	293	144	218	389	324	847	484
Δ_i	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sum_{i=1}^n H_{ji}$	509	249	536	398	435	520	195	215	686	279
HD_j	521	250	541	399	433	515	193	213	680	277
Δ_j	2.30	0.4	0.92	0.25	0.46	0.97	1.03	0.94	0.88	0.72

Оскільки всі значення відхилень не перевищують допустимих 5%, то отримана матриця міжрайонних кореспонденцій є остаточною.

Графічне відображення остаточної матриці міжрайонних кореспонденцій подано на рисунку 1.11.

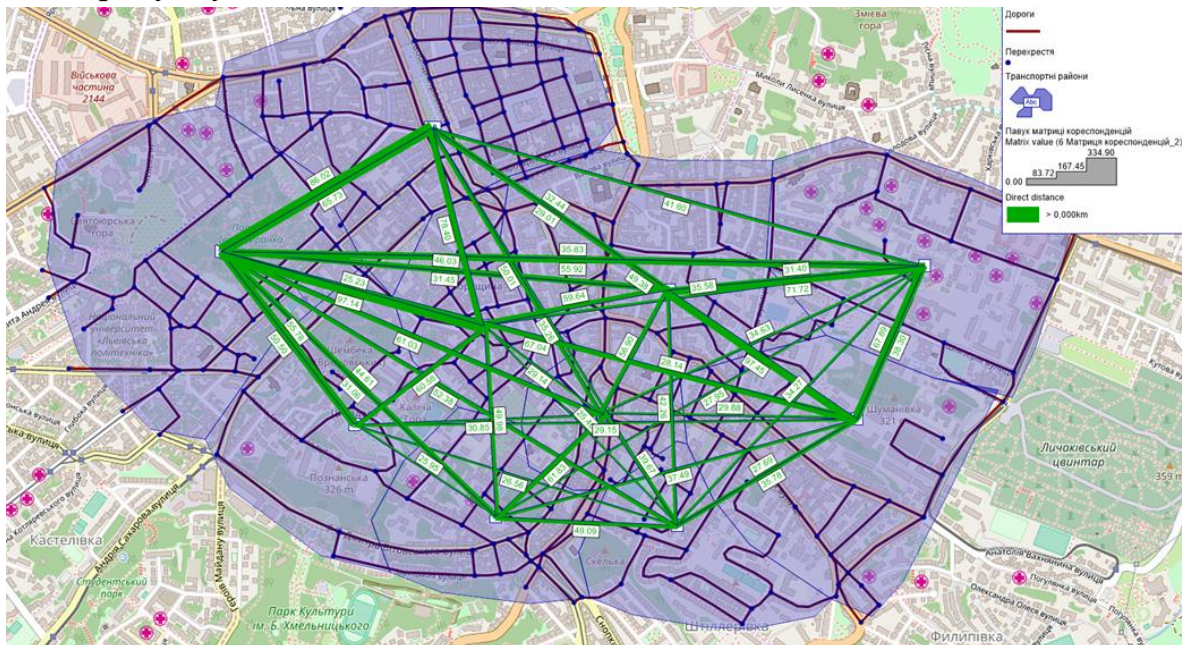


Рисунок 1.11 – Графічне відображення («павук») матриці міжрайонних кореспонденцій

Загальна структура 4-етапної моделі подана на рисунку 1.12.

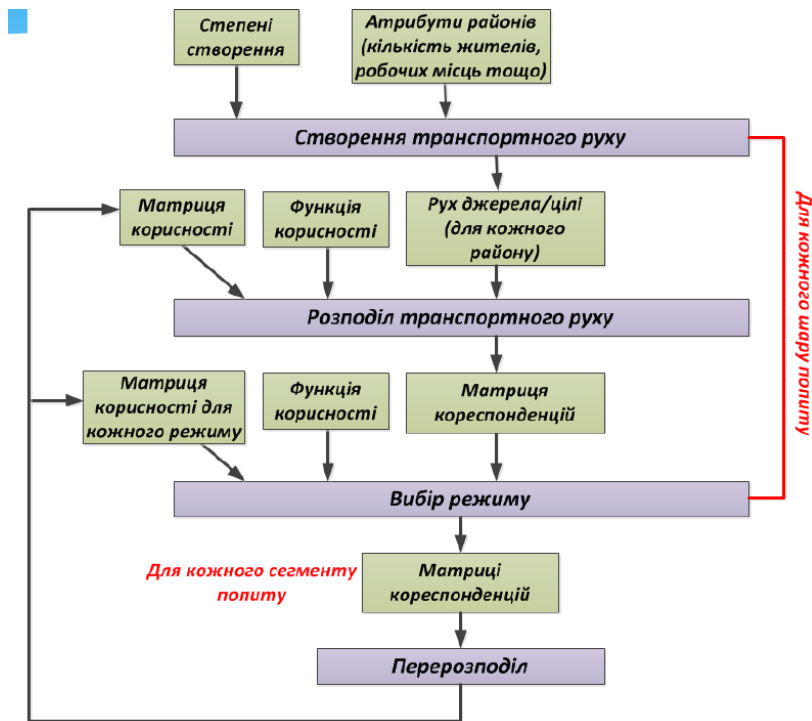


Рисунок 1.12 – Структурна схема класичної чотириетапної моделі транспортного попиту

Блок генерації переміщень відповідає за визначення кількості переміщень, які генеруються і поглинаються в кожному визначеному місці території планування. В цьому блоці проводиться розрахунок загальної кількості переміщень, які здійснюються мешканцями кожного транспортного району. Після цього визначається окремо кількість переміщень, які починаються в межах певного транспортного району, а також кількість переміщень, які закінчуються в межах транспортного району.

Блок розподілу транспортного руху відповідає за розрахунок кількості переміщень, які здійснюються з визначеного місця території планування до всіх інших місць території планування. В цьому блоці кількість переміщень, згенерованих кожним транспортним районом (спродукованих і поглинених) за певним розрахунком розподіляється між іншими транспортними районами. Тобто, визначається, скільки переміщень буде відбуватись між кожною парою транспортних районів.

Блок вибору режиму відповідає за розподіл кореспонденцій переміщень між режимами руху. В цьому блоці кількість переміщень за кожною кореспонденцією (тобто з визначеного транспортного району відправки до відповідного транспортного району прибуття) за допомогою розрахунку розподіляється між

типами переміщень. В результаті отримуються кількості переміщень, які здійснюються кожним режимом руху (громадським транспортом, індивідуальним транспортом, пішки).

Блок перерозподілу (прив'язки переміщень) відповідає за аналітичне та просторове прикріплення переміщень до певних маршрутів, ділянок мережі тощо. В цьому блоці кількість фактичних поїздок, які здійснюються з визначеного місця генерації до визначеного місця притягання за певним маршрутом певним типом переміщення, прикріплюється до ділянок ВДМ, маршрутів громадського транспорту, велодоріжок тощо.

Тема 2. Ефективність транспортних систем міст

Theme 2. Efficiency of urban transport systems

М.М. Жук, В.В. Гілевич, В.В. Ковалишин, Г.В. Півторак

Mykola Zhuk, Volodymyr Hilevych, Volodymyr Kovalyshyn, Halyna Pivtorak

2.1 Теоретичні основи визначення ефективності транспортних систем

2.1 Theoretical bases for determining the efficiency of transport systems

В сучасних умовах розвитку ринкового середовища досить важливим є впровадження та організація логістичних систем, а також оцінка їх впливу на загальну ефективність транспортного забезпечення підприємства, адже вона забезпечує необхідний набір послуг за максимально можливого зменшення витрат, зумовлених виконанням логістичних операцій. Дані умови обумовлюють необхідність дослідження ефективності логістичної системи, що потрібно оцінювати з точки зору визначення величини загальних витрат на здійснення логістичних операцій, рівня задоволеності споживачів, а також спроможності підприємства швидко реагувати на запити покупців. Слід зазначити, що наразі відсутній єдиний методичний підхід до оцінки ефективності функціонування логістичної системи (таблиця 10).

Таблиця 10 – Основні підходи до визначення ефективності логістичної системи

Автор	Підхід до визначення ефективності	Переваги	Недоліки
Пономарьова Ю.	Критерії оцінки: витрати, задоволення споживачів (якість), час, активи	Простий розрахунку, дозволяє системно підходити до аналізу проблем та здійснювати зіставлення отриманих результатів.	Показники повинні застосовуватися лише у порівнянні з певними стандартами.
Кислий М., Біловодська О., Олефіренко О., Смоляник О.	Критерії оцінки: економічного ефекту; якість при заданому рівні логістичних витрат; ефективність функціонування транспортного потоку логістичному ланцюзі.	Точність розрахунках, можливість порівняти отриманні результати з нормативними.	Показники відбивають минулі результати, а не поточні; повільно реагують на зміни, залежать від бухгалтерських прийомів.
Фролова Л.	Збалансована система показників	Визначаються переваги і недоліки системи, можливості використання і зменшення загроз, орієнтовані на стратегічні цілі, взаємозалежні та визначені за згрупованими ознаками.	Є не досить дієві у короткостроковій перспективі, використовуються лише фінансові показники.

Кристофер М.	Діаграма збалансованих переваг	Оцінка з позиції процесного підходу до управління логістичною діяльністю, використання для розрахунку доступні для підприємства дані.	Потребує подальшого дослідження питання оцінки логістичних витрату розрізі бізнес-процесу.
--------------	--------------------------------	---	--

Визначення ефективності діяльності завжди є відображенням результативності, основою для оцінки діяльності підприємства, свідчить про його конкурентоспроможність та характеризує особливості роботи.

Ефективність являє собою загальну економічну категорію, властиву усім суспільно-економічним формаціям і яка виражає співвідношення між кінцевим результатом виробництва – ефектом і сукупними витратами на виробництво.

Аналіз літературних джерел свідчить про те, що ефективність є співвідношенням між результатами виробничо-господарської діяльності самостійного суб'єкта і використаними для одержання цих результатів матеріальними, трудовими і фінансовими ресурсами (затратами).

За Базилевичем В. Д. ефективність – це економічна категорія, що відображає співвідношення між одержаними результатами і витраченими на їх досягнення ресурсами. За Дж. Блек ефективність – досягнення будь-яких визначених результатів з мінімально можливими витратами. За Лямець В. І. та Тевяшев А. Д. ефективність – це не просто властивість операції (процесу роботи системи), що відбивається в її здатності давати певний ефект, а дієвість такої здатності, тобто результативність, співвіднесена з ресурсними витратами. За Нусінов В. Я., Турило А. М., Темченко А. Г. ефективність є результативність, тобто результат діяльності (ефект), який одержує суспільство, підприємство на одиницю використаних (чи застосованих) ресурсів. За Орлов П. А. ефективність – співвідношення результату або ефекту будь-якої діяльності і витрат, пов'язаних з її виконанням. Причому це може бути як співвідношення результату і витрат, так і співвідношення витрат і результатів діяльності. За Райзберг Б. А. Ефективність – відносний ефект, результативність процесу, операції, проекту, що визначається як відношення ефекту, результату до витрат, що обумовили його отримання. За Сурмін

Ю. П. ефективність – показник успішності роботи системи для досягнення встановлених цілей.

Поняття ефективності не можна характеризувати і підпорядковувати лише сукупній праці і сукупному економічному зростанню чи лише мікрорівнем виробничих відносин, забуваючи про аналіз макроекономічного середовища, а також не досліджуючи вплив усіх факторів, наявних ресурсів. Ефективність транспортного забезпечення можна класифікувати за такими ознаками:

1. за наслідками - економічна, соціальна та екологічна;
2. за місцем отримання ефекту – локальна, національна, міжнародна;
3. за ступенем збільшення - первинна і мультиплікаційна;
4. за метою визначення - абсолютна і порівняльна.

Методологія оцінювання ефективності ґрунтується на трьох загальноприйнятих підходах:

1. ресурсний: економічний результат зіставляється з економічною оцінкою ресурсів, які застосовуються під час виробництва;

2. витратний: економічний результат порівнюється з поточними витратами, що безпосередньо пов'язані з його досягненням;

3. ресурсно-витратний: являє собою певний компроміс між двома попередніми.

При визначенні чисельника в процесі оцінювання ефективності виділяють три найзагальніші підходи:

1. за ефект приймається валова вартість створеного за певний період продукту.

2. ефектом є отриманий прибуток.

3. за результат береться сума прибутку та амортизації.

Для досягнення максимальної ефективності в процесі надання транспортної послуги потрібно показати високі показники господарської діяльності та порівнювати з тими витратами, в результаті використання яких вони отримані. Основні показники для розрахунку ефективності зображені в табл. 2. В межах визначення економічної ефективності логістичної системи доцільно виділити такі підходи:

1. Функціональна ефективність кількісно виражається як корисний ефект, отриманий в результаті функціонування логістичної системи за визначений період часу.

2. Ефективність логістичної операції, логістичного рішення, функціонування логістичної системи можна охарактеризувати системою показників якості транспортного забезпечення при заданому рівні логістичних витрат.

3. Для кількісної оцінки ефективності доцільно використовувати коефіцієнт ефективності функціонування матеріального потоку в логістичному ланцюзі.

2.2. Соціальна та екологічна ефективність транспортних систем

2.2. Social and environmental efficiency of transport systems

Транспортна система може розглядатися як група механізмів (автомобілів, навантажувачів тощо), що обслуговуються операторами (водії, кранівники, екскаваторники і т. д.). Кожен механізм і його оператор представляє собою систему «людина-машина» з двох взаємодіючих і взаємозалежних одиниць. Будь-яка система – це сукупність взаємодіючих компонентів, кожен з яких можна розглядати в якості самостійної системи, що включає в себе більш прості компоненти (елементи). Системний підхід дозволяє з'єднати в одне ціле шматки перевізного процесу та досягти впорядкованості останнього. Складовими частинами кожної системи є компоненти, мають властивості або характеристиками. Ці характеристики впливають на функціонування системи, її швидкодія, надійність, провізну можливість і т. д. При організації транспортних систем доводиться робити вибір між людиною і машиною, між різними типами рухомого складу, вантажно-розвантажувальних механізмів і людьми на основі 5 характеристик і витрат, пов'язаних з їх використанням. Ефективність транспортної системи завжди буде формуватися на двох рівнях за участю трьох суб'єктів: транспортної системи, споживача її послуг і державних органів, що забезпечує згладжування протиріч між суб'єктом транспортної системи і двома іншими суб'єктами. Сила зв'язків у схемі формування ефективності залежить від сфери послуг транспортної системи. У сфері вантажних перевезень, тарифи формуються на ринковій основі і діяльність транспортної системи визначається кон'юнктурою відповідного сектора економіки. У сфері пасажирських перевезень, державні органи вдаються до директивному регулюванню тарифів, і компенсують витрати для забезпечення необхідного рівня внутрішньої ефективності. Варто також звернути увагу на оцінку ефективності об'єктів транспортної інфраструктури. При виборі варіанту будівництва, наприклад, вокзалу або дороги, необхідно враховувати не вартість будівництва, а й ефективність використання об'єкта користувачами. Суперечності в оцінці ефективності роботи транспортної системи стимулюють розвиток нових форм транспортного обслуговування, розширення транспортної системи на суміжні види діяльності, що дозволяє підвищити об'єктивність оцінки ефективності. Створення

логістичних систем дозволяє використовувати єдину оцінку ефективності транспортних і складських операцій, які виконуються різними суб'єктами в ланцюжку доставки. У сфері пасажирських перевезень поширеною тенденцією є укрупнення транспортних компаній і об'єднання в єдину транспортну систему систем окремих видів транспорту.

Вплив транспортних потоків на довкілля є досить вагомим. Особливо актуальним є питання дослідження екологічної ситуації в густонаселених містах, де автомобільний транспорт наносить велику шкоду у вигляді викидів з систем, зношування шин, витікання технічних рідин з систем автомобіля тощо. Під час руху у заторах та дорогами з вибоїнами автомобільні двигуни працюють в режимах перевантаження, що сприяє підвищенню обсягів викидів CO, NO₂ та вуглеводнів, з якими не справляються штатні системи очищення. Інтенсивне забруднення повітря у великих містах зумовлене швидким зростанням чисельності транспортних засобів та відставанням темпів розвитку дорожньо-транспортної мережі. Екологічна небезпека забруднення великих міст стала однією із актуальних проблем сучасності. В зв'язку з цим існує потреба в постійному моніторингу вмісту забруднюючих речовин в атмосферному повітрі для оцінки рівня забруднення придорожного середовища в залежності від складу ТП, дорожніх та атмосферних умов.

Методи оцінки вимірників впливу та рівнів забруднення придорожного простору регламентують відповідними законодавчими актами України та нормативно-методичними документами. Отримання інформації про забруднення придорожного середовища викидами автотранспорту в атмосферне повітря можливе двома шляхи:

- експериментальними вимірами параметрів, що характеризують якість повітря поблизу об'єктів транспортної інфраструктури;
- розрахунком викидів забруднюючих речовин в атмосферу пересувними джерелами (для міст і міських регіонів, окремих магістралей і транспортних об'єктів).

При визначенні рівня забруднення придорожного середовища транспортним потоком необхідно враховувати ряд особливостей:

- вузьку лінійну локалізацію викидів вздовж доріг;
- неоднорідність щільності і складу транспортного потоку в часі, що залежить від пори року, дня тижня, часу доби;
- значну просторову мінливість характеристик потоку, що визначається ступенем віддаленості від великих населених пунктів, характером покриття доріг;

- приземне розташування джерел, що сповільнює розсіювання викидів.

Характеристики транспортних потоків та питання теоретичного опису механізму впливу транспортних потоків міста на навколишнє середовище в різний час вивчали такі науковці, як Коваленко Л.О., Луканін В.М., Данілов О.Ф., Донченко В.В., Корчагін В.О., Трофіменко Ю. В., Фрідрих Р., Айсфельдт Н., Шварц Х. та інші.

Рівень загазованості доріг і прилеглої території залежить від інтенсивності руху автомобілів, ширини і рельєфу вулиці, швидкості вітру, частки вантажного транспорту та автобусів у загальному потоці тощо. При інтенсивності руху 500 транспортних одиниць на годину концентрація окису вуглецю на відкритій території на відстані 30-40 м від автомагістралі знижується в 3 рази і досягає норми. На тісних вулицях розсіювання викидів автомобілів ускладнюється. Внаслідок чого практично всі жителі міста відчувають шкідливий вплив забрудненого повітря. На швидкість поширення забруднення і концентрацію його в окремих зонах міста значно впливають температурні інверсії, як правило, за штильової погоди (75% випадків) або при слабких вітрах (від 1 до 4 м/с). До 50% денного надходження свинцю в організм припадає на повітря, в якому значну частку становлять відпрацьовані гази автомобілів.

Стан навколишнього середовища у великих містах є однією із актуальних проблем сучасності. В зв'язку з цим існує потреба в постійному моніторингу вмісту забруднюючих речовин в повітрі для оцінки рівня забруднення придорожного середовища в залежності від показників транспортного потоку та умов руху.

Методи оцінки впливу та рівнів забруднення навколишнього середовища міст регламентуються відповідними законодавчими актами України та нормативно-методичними документами.

Моніторинг можливий двома шляхами:

- експериментальні виміри параметрів, що характеризують якість повітря поблизу об'єктів транспортної інфраструктури;
- розрахунок викидів забруднюючих речовин в атмосферу пересувними джерелами (для міст і міських регіонів, окремих магістралей і транспортних об'єктів).

При визначенні рівня забруднення міського середовища транспортним потоком необхідно враховувати ряд особливостей:

- вузьку лінійну локалізацію викидів вздовж доріг;
- неоднорідність щільності і складу транспортного потоку в часі, що залежить від сезонних чинників;

- значну просторову мінливість характеристик потоку, що визначається ступенем віддаленості від великих населених пунктів, характером покриття доріг;
- приземне розташування джерел, що сповільнює розсіювання викидів.

Для вирішення задач, пов'язаних з моделюванням і прогнозуванням забруднення атмосфери транспортними потоками, найбільш перспективним є використання розрахункових методів. В ЄС для розрахунків концентрації шкідливих викидів від транспортних засобів широко застосовується програмний продукт «COPERT».

COPERT - програмний інструмент, що використовується у всьому світі для розрахунку викидів парникових газів та викидів парникових газів від автомобільного транспорту.

Використання даного програмного інструменту для обчислення викидів транспорту дозволяє проводити прозорі та стандартизовані, а отже, послідовні та порівняльні процедури збору даних та звітності щодо викидів відповідно до вимог міжнародних конвенцій та законодавства ЄС.

Розвиток COPERT координується Європейським агентством з питань навколишнього середовища.

Можна описати методологію та відповідні коефіцієнти викидів, які пропонується використовувати для розрахунку оцінки викидів від автомобільного транспорту. Методологія повністю включена в комп'ютерну програму COPERT, що полегшує його застосування.

Методика, закладена в програму «COPERT» базується на наступних параметрах:

- автомобільний парк, що досліджується: кількість автомобілів, рік реєстрації, пробіг (для автомобілів) або вага (для комерційних транспортних засобів);
- умови водіння: середня швидкість і пробіг;
- коефіцієнти викидів
- вид палива;
- кліматичні умови (мінімальна і максимальна температура за певний період);
- ухил дороги;
- вантаж, що транспортується у випадку комерційних перевезень.

Методологію цієї програми можна представити у вигляді схеми, що зображена на рисунку 1.13.



Рисунок 1.13 – Методологія роботи програмного продукту «COPERT»

Відповідно до наявного рівня деталізації та підходу, методи розрахунку кількості шкідливих викидів за різних умов можна представити у вигляді блок-схеми, як показано на рисунку 1.14.

Методологія програмного продукту включає в себе всі необхідні технологічні дані для оцінки викидів від дорожнього руху на один рік, а також може застосовуватися протягом року в найближчому майбутньому. Категорія транспортних засобів включає ряд вагових категорій для важких вантажних автомобілів, і розглянувши міських автобусів і автобусів окремо. Коефіцієнти викидів та коефіцієнти споживання палива вводяться для всіх категорій транспортних засобів (крім мопедів <math>< 50 \text{ см}^3</math>).

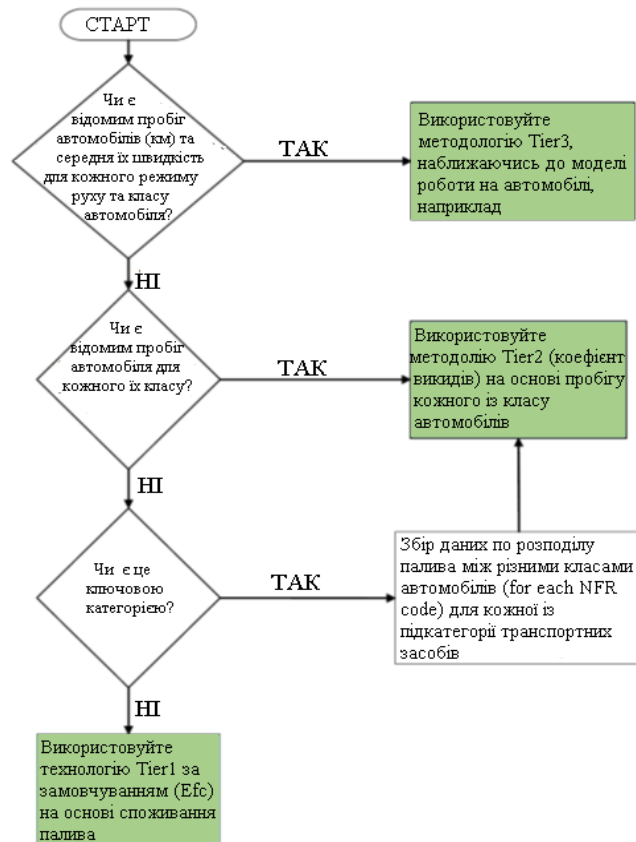


Рисунок 1.14 – Блок-схема методики роботи у програмному продукті «COPERT»

Основні категорії автомобілів в програмному продукті COPERT можна виділити для класифікації ЄЕК ООН наступним чином (таблиця 1.11).

Таблиця 1.11 – Класифікація автомобілів

Клас автомобіля	Умовне позначення у програмному продукті
Пасажирські автомобілі	M1
Легкові транспортні засоби	N1
Вантажні транспортні засоби	N2, N3
Міські автобуси та автобуси	M2, M3
Двоколісні транспортні засоби	L1, L2, L3, L4, L5

Забруднюючі речовини

У відпрацьованих газах двигунів автомобілів міститься понад 200 токсичних хімічних сполук, більшість з яких є вуглеводнями. Через таке розмаїття і складність ідентифікації окремих з'єднань до розгляду зазвичай приймаються найбільш

представлені компоненти чи їхні групи. Програмний продукт COPERT дає можливість оцінити наступні типи забруднюючих речовин: CO, NO_x, VOC, N₂O, NH₃, SO, CO₂, CH₄, РЬ, РМ, НМ, NMVOC.

Кількість забруднюючих речовин, що викидаються в атмосферу транспортними засобами, залежить як від викидів транспортних засобів (коефіцієнтів викидів), так і від числа автомобільного парку (автомобілів з бензиновим, дизельним, зрідженим газоподібним, каталітичним і не каталітичним двигунами тощо) та їх відносного пробігу.

У таблиці 1.12 подано умовні позначення, що еквівалентні хімічним сполукам.

Таблиця 1.12 – Хімічні сполуки

Хімічна сполука	Еквівалент
NO _x (NO і NO ₂)	дано як NO ₂ , еквівалент
N ₂ O	дано як N ₂ , Еквівалент
SO _x	дано як SO ₂ ,еквівалент
VOC	дано в еквіваленті CH _{1,85}
CH ₄	дано як CH ₄ , еквівалент
НМVOC	виробляється шляхом віднімання CH ₄ від загального обсягу викидів у VOC
CO	дано як еквівалент CO
CO ₂	дано як CO ₂ , еквівалент
NH ₃	дано як NH ₃ , еквівалент
Частка частинок	дані як масове еквівалентне вимірювання фільтра
Свинець	дано в еквіваленті РЬ
Кадмій	дано в еквіваленті Сd
Мідь	дано в еквіваленті Сu
Хром	дано в еквіваленті Сr
Селен	дано як еквівалент Se
Нікель	дано в еквіваленті Ni
Цинк	дано в еквіваленті Zn

Шкідливі викиди від транспортних засобів поділяються на три типи:

1. «Викиди з прогрітим двигуном». Це викиди транспортних засобів після їх прогріву до нормальної робочої температури.

2. «Гарячі пускові викиди», які є викидами від транспортних засобів, коли вони розігріваються.
3. Випаровування викидів. Вони виникають лише у відповідних кількостях для автомобілів бензину у вигляді викидів NMVOC.

Викиди з прогрітим двигуном

Ці викиди залежать від різноманітних факторів, включаючи відстань, з якою рухається кожен транспортний засіб, його швидкість (або тип доріг), його вік, розмір двигуна та вага двигуна. У багатьох країнах немає цільної оцінки цих даних. Важливо, щоб кожна країна використовувала найбільш наближені до реальності. Це питання має бути вирішено кожною окремою країною. Існує ряд інших чинників, які можуть впливати на викиди транспортних засобів, наприклад, стану технічного обслуговування.

Основна формула для оцінки гарячих викидів, використовуючи експериментально отримані коефіцієнти викидів:

$$Emission[g] = emission_factor[g / km] \cdot vehige_kilometr_per_year \quad (1.39)$$

$$Викиди [g] = коефіцієнт викидів [g / км] \cdot км кілометрів на рік [км]$$

Коефіцієнти викидів та кілометри транспортного засобу в більшості випадків поділяються на певні типи дорожніх класів та категорії автомобілів.

Проте для багатьох країн єдиними відомостями, які мають певну точність, є загальне споживання бензину, дизелю та зрідженого газоподібного палива на кілометр пробігу. Тому дані споживання палива використовуються для перевірки пробігу автомобіля, де вони відомі і утворюють остаточний баланс пального.

Оскільки коефіцієнти викидів можуть бути перетворені з [г / км] на [г / кг палива], використовуючи дані споживання для всіх класів автомобілів та типів дороги, обчислення може здійснюватися або на один, або інший коефіцієнт викидів.

Якщо необхідно визначити кількість спожитого палива:

$$E_{hot, i, j, k} = g_{j, k, 1} \cdot b_{j, 1} \cdot e_{* hot, year, i, j, k} \quad (1.40)$$

$E_{hot, i, j, k}$ - викиди забруднювача і в [g], випущені в референтному році автомобілями категорії J, які ведуть на дорогах типу k з гарячими двигунами;

$g_{j, k, 1}$ - частка річного споживання палива типу 1, що використовується транспортними засобами категорії j, на дорозі типу k;

$b_{j, 1}$ - загальне річне споживання палива типу 1 в одиницях вимірювання [кг] на категорію автомобіля категорії j, що працював у звітному році;

$e_{* \text{ hot, year, } i, j, k}$ - середній показник коефіцієнта викидів парникових газів в базовому сценарії [г / кг палива] для забруднювачів, що відносяться до категорії транспортного засобу j , експлуатується на дорогах типу k з розігрітими двигунами (ці чинники були отримані з коефіцієнтів викидів окремих автомобілів, які були згруповані відповідно до національної поділу автотранспорту);

i – забруднюючі речовини;

j – категорія транспортного засобу;

k – клас дороги (міська, сільська та шосе;

l – тип палива.

Застосування рівняння (1.40) вимагає статистичних вхідних даних, які недоступні в кількох країнах. Тому деякі дані повинні бути оцінені. Запропоновано застосовувати в якості принципу для цих оцінок правило, що ті параметри повинні бути модифіковані найбільше. На практиці це означає привласнювати невизначеність параметрам, які насправді є невизначеними та щоб уникнути модифікацій параметрів, які відомі дещо точніше. Нижче наведені деякі практичні пояснення даних.

Фактори $g_{j, k, l}, b_{j, l} \cdot e$ що використовуються в рівнянні (1.40), не можуть бути введені в розрахунок за статистичними даними, але повинні бути оцінені за допомогою інших параметрів. У такому випадку так запропоновано розподілити загальні показники пального до категорій транспортного засобу в процесі повторення, виходячи з припущень щодо середньорічного пробігу, який керується транспортними засобами певної категорії, та розподілом загального річного пробігу для різних типів дороги.

Дані щодо загального споживання різних видів палива, кількості транспортних засобів кожної категорії та середньої кількості споживання для кожної категорії автомобіля на різних типах доріг залишається нерухомими точками в цьому процесі. Почати потрібно з:

$$m_j = h_j \cdot v_j \quad (1.41)$$

m_j - загальний річний пробіг у [км] відповідної категорії транспортного засобу j ;

h_j - кількість транспортних засобів даної категорії j ;

v_j - середньорічний пробіг, керований кожним транспортним засобом даної категорії j ;

Якщо h_j вважається відомою статистичною цифрою, відповідно v_j не використовуються як незалежні статистичні дані у багатьох країнах і повинна

оцінюватись безпосередньо на досліджуваній території.

Наступним кроком є введення m_j в формулу:

$$m_{j,k} = m_j \cdot d_{j,k} \quad (1.42)$$

$m_{j,k}$ - загальний річний пробіг у [км] відповідного класу транспортних засобів j на типі дороги k ;

$d_{j,k}$ - частка щорічного віддаленого пробігу, зведеного о на тип дороги k , та клас автомобіля j ;

Параметр $d_{j,k}$ рідко доступний як незалежні статистичні дані в будь-якій європейській країні, тому його слід оцінити самостійно відповідно до досліджуваної території в конкретний момент часу.

Параметр m_j , k слід ввести в формулу:

$$b_{j,l} = \sum_{k=1}^3 m_{j,k} \cdot c_{j,k} \quad (1.43)$$

$b_{j,l}$ - загальне річне споживання палива типу 1 в [кг] автомобілями категорії j , що працювали у звітному році;

$c_{j,k}$ - середнє споживання палива у [г / км] за класом транспортних засобів j на типах доріг k :

$$O_l = \sum_j b_{j,l} \quad (1.44)$$

O_l - загальне річне споживання палива типу 1.

Як правило, розрахований O_l повинен бути рівним статистиці споживання 1. Якщо розрахований O_l не відповідає справжнім значення, недостовірні вхідні параметри повинні бути змінені.

Облік швидкості автомобіля

Швидкість транспортного засобу, яка вводиться в розрахунок за допомогою трьох типів дорожнього руху, має значний вплив на викиди транспортних засобів. Існують різні підходи для врахування моделей водіння.

Є два альтернативних методи:

- вибрати одну загальну середню швидкість, що відповідає кожному з типів доріг "міський", "сільський" та "шосе" (наприклад, 20км / год, 60 км / год та 100 км/ год, відповідно) та застосовувати коефіцієнти викидів, взяті з графіків або розраховані за допомогою рівнянь,

- визначити середню криву розподілу швидкості $f_k(z)$ та інтегрувати по кривих викидів:

$$i.e.: e_{hot, i, j, k, g} = \int e(z) f_{k, j}(z) \quad (1.45)$$

c - коефіцієнт викидів у [г / км] для забруднювача i , відповідного для категорії j транспортного засобу, що експлуатується на типах доріг k з гарячими двигунами, діє на регулюючий крок g ;

z - швидкість руху транспортних засобів на дорожніх класах «заміський», «міський», «шосе»;

$e(z)$ - математичне вираження (наприклад, «найкраще підходить») швидкості залежності $e_{hot, i, j, k, g}$;

$f_{kj}(z)$ - рівняння (наприклад, формула кривої «best fit») частотного розподілу середньої швидкості, яка відповідає моделям руху транспортних засобів на дорожніх класах «заміські», «міські» та «шосе», $f_{kj}(z)$ залежить від класу дороги k , типу транспортного засобу j , а також, можливо, від розміру двигуна та вагового класу.

Викиди з охолодженням двигуном

Холодні старти, в порівнянні з «гарячими викидами», призводять до додаткових викидів. Вони підходять до усіх трьох умов водіння, однак, вони найбільш доцільно підходять до умов при водінні в місті. В принципі вони трапляються для всіх категорій автомобілів.

Проте коефіцієнти викидів доступні або можуть бути обґрунтованими для легкових автомобілів бензинових, дизельних та газових двигунів.

Ці викиди розраховуються як додаткові викиди в порівнянні з викидами, які можна було б очікувати, якщо б тільки всі машини експлуатувалися з гарячими двигунами та розігрітими каталізаторами. Фактор, співвідношення холодних та гарячих викидів, використовується та застосовується як частка кілометрів, що рухаються з холодними двигунами. Ці фактори можуть відрізнитися залежно від країни, різної поведінки при водінні (різної тривалості поїздки), а також клімат з різним часом (і, отже, відстань), необхідним для розігріву двигуна і / або каталізатор, що впливає на частку відстані, що рухається з холодним двигуном.

Холодні викиди вносяться у розрахунок як додаткові викиди за км, використовуючи наступну формулу:

$$E_{cold; i, j} = \beta_j \cdot m_j \cdot e^{hot} \cdot (e^{cold} / e^{hot} - 1) \quad (1.46)$$

$E_{cold; i, j}$ - викиди холодного газу забруднювача i (за референтний рік), викликані типом транспортного засобу j (всі прогнози холодного старту виділяються для міського водіння);

β_j - частка пробігу, яку ведуть холодильні двигуни², або каталізатор працює під температурою світла;

m_j - загальний річний пробіг категорії транспортного засобу j ;

e^{cold} / e^{hot} - холодне чи гаряче співвідношення викидів.

Параметр β залежить від температури навколишнього середовища.

Співвідношення e^{cold} / e^{hot} також залежить від температури навколишнього середовища та забруднювача.

Існує три основних джерела викидів парникових газів від транспортних засобів:

1. добові викиди;
2. потік викидів з розігрітим двигуном;
3. поточні затрати.

Вони оцінюються окремо та впливають на фактори, які залежать від країни.

Добова кількість викидів

Викиди, що випаровуються пов'язані з добовою зміною температури навколишнього середовища, обумовлені розширенням пари в середині бензинової цистерни, що виникає при підвищенні температури навколишнього середовища під час денного світла. Вночі, коли температура падає, контакти парів і свіжого повітря втягується в бензобак через вентиляційний отвір. Це знижує концентрацію вуглеводнів у паровому просторі, що є вище бензину, який згодом призводить до додаткового випаровування.

Потік викидів з прогрітим двигуном

Викиди, що випаровуються з автомобіля з розігрітим двигуном - це викиди, викликані вимкненим гарячим двигуном.

Випаровувані викиди від транспортних засобів, що працюють на бензині, додають до загальної кількості викидів при розрахунках.

Основне рівняння для оцінки випаровування викидів виглядає наступним чином:

$$E_{eva,voc,j} = 365 \cdot a_j (e^d + S^c + S^{fi}) + R \quad (1.47)$$

$E_{eva,voc,j}$ - викиди VOC внаслідок випаровуваних втрат, спричинених категорією транспортного засобу j ;

a_j - кількість автомобілів категорії j з бензиновим двигуном;

e^d - середній коефіцієнт викидів для добових втрат транспортних засобів з бензиновим двигуном, обладнаними металевими цистернами, залежно від

середньомісячної температури навколишнього середовища та варіації температури;

S^c - середній коефіцієнт викидів автомобіля з прогрітим бензиновим двигуном та з холодним, обладнаних карбюратором;

S^{fi} - середній коефіцієнт викидів від прогрітого автомобіля з бензиновим двигуном;

R - втрати у роботі прогрітого транспортного засобу.

$$Sc = (l - q) \cdot (p \cdot x \cdot e^{s,hot} + w \cdot x \cdot e^{s,warm}) \quad (1.48)$$

$$S^{fi} = qe^{fi} \cdot x \quad (1.49)$$

$$R = mj(p \cdot e^{r,hot} + w \cdot e^{r,warm}) \quad (1.50)$$

q – частка бензинових транспортних засобів, обладнаних впорскуванням палива;

p - частка поїздок, закінчених з неохолодженим двигуном (залежно від середньомісячної температури навколишнього середовища);

w – частка відряджень (короткі відпустки), закінчених з неохолодженим двигуном;

x – середня кількість поїздок автотранспортним засобом за добу, або протягом року:

$$x = v_j / (365 \cdot l_{trip}) \quad (1.51)$$

$e^{s,hot}$ - середній коефіцієнт викидів нагрітої «сипки»(який залежить від вологості палива);

$e^{s,warm}$ - середній коефіцієнт викидів для холодних та теплих вихлопних газів (що залежить від вологості палива та середньомісячної температури навколишнього середовища);

e^{fi} - середній коефіцієнт викидів для гарячих та теплих вихлопних газів транспортних засобів з бензиновим двигуном;

$e^{r,hot}$ - середній коефіцієнт втрат викидів для двигунів, що працюють з бензиновим двигуном (що залежать від середньомісячної температури палива);

$e^{r,warm}$ - середній коефіцієнт теплих втрат викидів бензинових двигунів;

m_j - загальний річний пробіг транспортних засобів, що обладнані бензиновими двигунами, категорії j .

Вплив дорожнього градієнта

Градієнт дороги впливає на збільшення або зменшення опору транспортного засобу до зчеплення, як і потужність, яка використовується під час керування автомобілем, є вирішальними параметрами для викидів транспортного засобу.

Навіть в випадках великомасштабних міркувань, однак, не можна припускати, що, наприклад, додаткова емісія під час руху в гору компенсується відповідно зменшеною емісією під час руху по рівнині.

У принципі, викиди та споживання палива як легких, так і важких транспортних засобів залежать від покриття дороги.

Спеціальні градієнтні фактори були введені для кожного важкого класу транспортного засобу.

Ці коефіцієнти коригування викидів вважаються функцією:

- маса транспортного засобу;
- градієнт дороги;
- забруднювач або споживання;
- середня швидкість автомобіля;
- маса автомобіля.

Важкі транспортні засоби різної маси поведуться по-різному під час їзди або спуску вниз через різні навантаження на двигун. Для кожного класу важких транспортних засобів запропоновано спеціальні рівняння для розрахунку градієнтних факторів.

Очевидно, що вплив нахилу на викиди та споживання буде сильно залежати від градієнта доріг. Для представлення фактичних умов були введені чотири класу дорожніх градієнтів.

Програмний продукт COPERT – це найновітніша програма для розрахунку кількості шкідливих викидів у атмосферу різних видів транспорту.

Для початку роботи з програмним продуктом потрібно завантажити програму з інтернет ресурсу [<https://www.emisia.com/utilities/copert/>] та інсталювати її.

Наступним кроком, після запуску є програми, у вкладці «File» необхідно вибрати функцію «Create with Wizard» для початку роботи у програмному продукті.

На рисунку 1.15 наведено початкове робоче вікно програми.

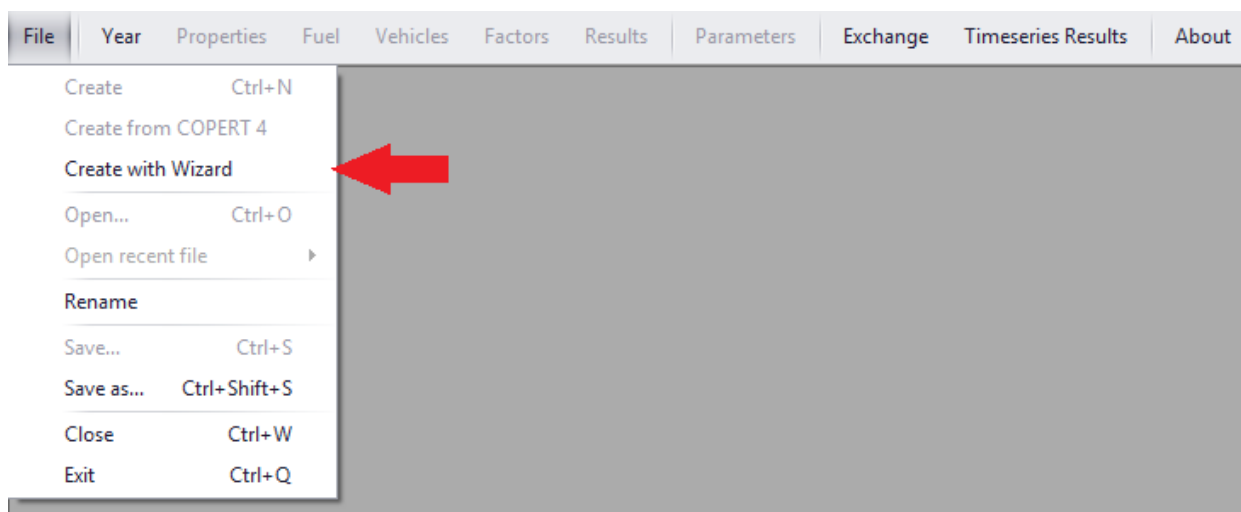


Рисунок 1.15 – Робоче вікно програми COPERT

Після вибору даної вкладки з'являється вікно зі всіма наступними кроками, що будуть використані при розрахунку загазованості навколишнього середовища:

1. «Add year» - додавання року.
2. «Select year» - вибір року.
3. «Environmental information» - екологічна інформація.
4. «Fuel Specifications» - специфікації палива.
5. «Lubricant Specifications» - специфікації мастила.
6. «Statistical Fuel Consumption» - статистичне споживання палива.
7. «Stock Configuration» - конфігурація запасу.
8. «Stock and Activity Data» - дані про фонд та діяльність.
9. «Circulation Data» - дані циркуляції.
10. «Fuel Balance» - баланс палива.
11. «Calculate» - розрахунки.
12. «Emissions» - викиди.

На рисунку 1.16 наведено вікно програми з послідовними кроками виконання дослідження.

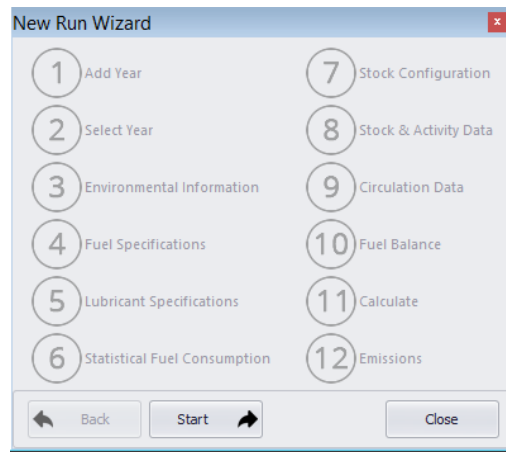


Рисунок 1.16 – Послідовність виконання дослідження

Щоб отримати результати викидів потрібно послідовно виконувати кожну операцію, починаючи з першої, щоб почати роботу необхідно натиснути на вікно під назвою «Start», після чого програма почне роботу. Наступним кроком є вибір найближчого року відносно того, в якому виконувалось дослідження. У даному випадку потрібно обрати 2020 рік (рисунок 1.17).

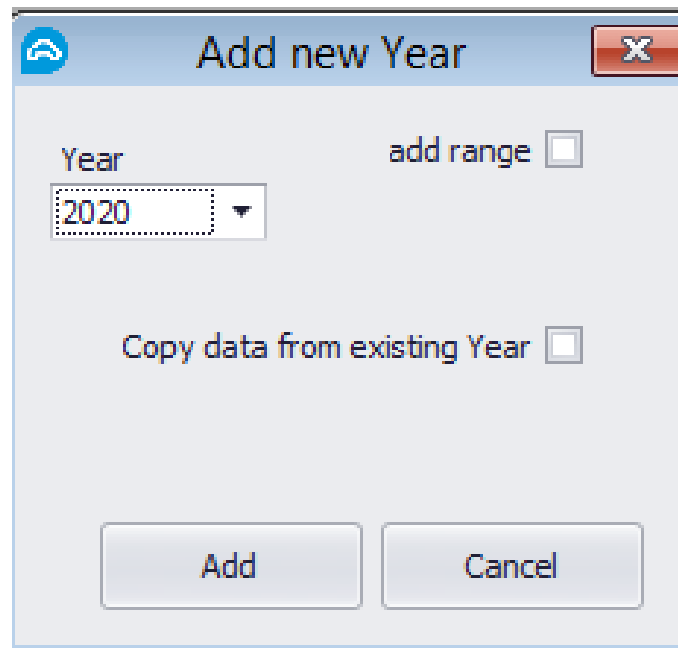


Рисунок 1.17 – Додавання року

Для продовження роботи програмного продукту потрібно натиснути клавішу «Add» (цю клавішу потрібно використовувати після кожного кроку (див.рис.1.17) виконання програми). Наступним кроком є вибір конкретного року, в якому проводилось дослідження (рисунок 1.18).

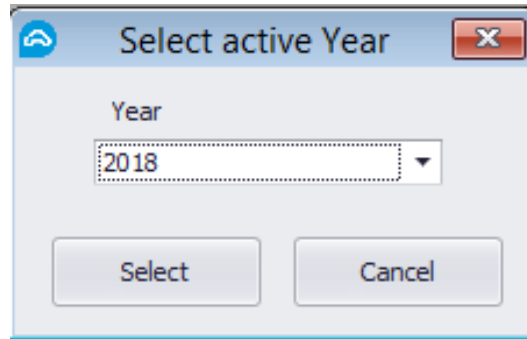
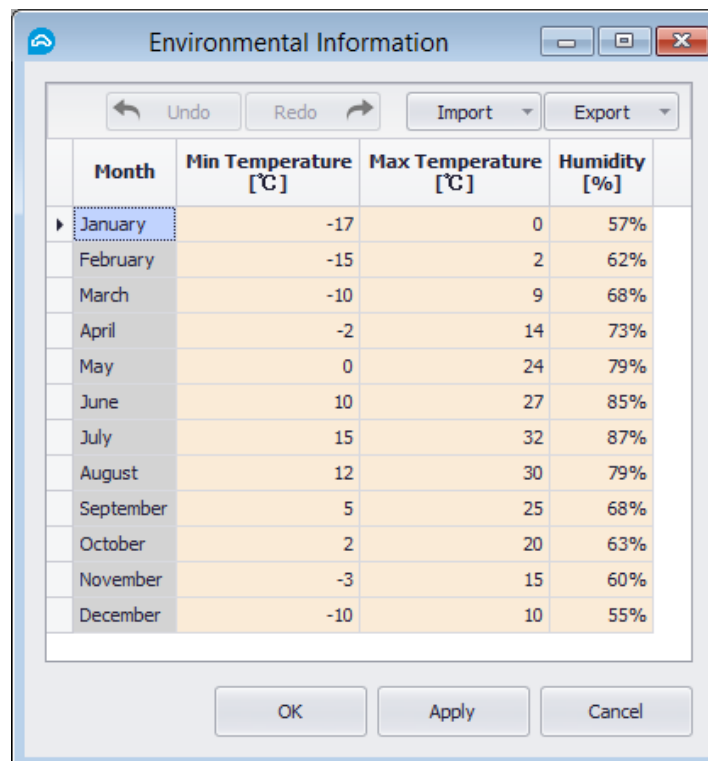


Рисунок 1.18 – Вибір конкретного року

Наступний етап – це введення середньо місячної температури протягом року, під час якого було зроблене дослідження (рисунок 1.19).



Month	Min Temperature [°C]	Max Temperature [°C]	Humidity [%]
January	-17	0	57%
February	-15	2	62%
March	-10	9	68%
April	-2	14	73%
May	0	24	79%
June	10	27	85%
July	15	32	87%
August	12	30	79%
September	5	25	68%
October	2	20	63%
November	-3	15	60%
December	-10	10	55%

Рисунок 1.19 – Показники середньорічної температури

Середньорічна температура вказана для місцевості, що досліджується. Наступним кроком є оцінка палива (рисунок 1.20).

Primary Fuel	Specifications				Content In Species										
	Energy Content [MJ/kg]	H:C Ratio [-]	O:C Ratio [-]	Density [kg/m ³]	S [ppm wt]	Pb [ppm wt]	Cd [ppm wt]	Cu [ppm wt]	Cr [ppm wt]	Ni [ppm wt]	Se [ppm wt]	Zn [ppm wt]	Hg [ppm wt]	As [ppm wt]	
Petrol Grade 1	43.774	1.86	0	750	0	0.0016	0.0002	0.0045	0.0063	0.0023	0.0002	0.033	0.0087	0.0003	
Petrol Grade 2	43.774	1.86	0	750	0	0.0016	0.0002	0.0045	0.0063	0.0023	0.0002	0.033	0.0087	0.0003	
Diesel Grade 1	42.695	1.86	0	840	0	0.0005	0.00005	0.0057	0.0085	0.0002	0.0001	0.018	0.0053	0.0001	
Diesel Grade 2	42.695	1.86	0	840	0	0.0005	0.00005	0.0057	0.0085	0.0002	0.0001	0.018	0.0053	0.0001	
LPG Grade 1	46.564	2.525	0	520	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
LPG Grade 2	46.564	2.525	0	520	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CNG	48	4	0	175	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Biodiesel	37.3	1.95	0.11	890	0	0.0005	0.00005	0.0057	0.0085	0.0002	0.0001	0.018	0.0053	0.0001	
Bioethanol	28.8	3	0.5	794	0	0.0016	0.0002	0.0045	0.0063	0.0023	0.0002	0.033	0.0087	0.0003	
H2	43.774	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ETBE	36.2	2.33	0.167	736	0	0.0016	0.0002	0.0045	0.0063	0.0023	0.0002	0.033	0.0087	0.0003	

Рисунок 1.20 – Оцінка показників палива

П'ятим етапом є опрацювання даних про мастила (рисунок 1.21).

Lubricant Type	Content In Species											Specifications	
	S [ppm wt]	Pb [ppm wt]	Cd [ppm wt]	Cu [ppm wt]	Cr [ppm wt]	Ni [ppm wt]	Se [ppm wt]	Zn [ppm wt]	Hg [ppm wt]	As [ppm wt]	H:C Ratio [-]	O:C Ratio [-]	
Type 1	0	0.0332	4.56	778	19.2	31.89	4.54	450.2	0	0	2.08	0	

Рисунок 1.21 – Оцінка показника мастила

На рисунку 1.22 виведено кількість палива, що має забезпечити достатнє невичерпне споживання, для цього потрібно поставити знак біля позначки «Perform automatic energy balance».

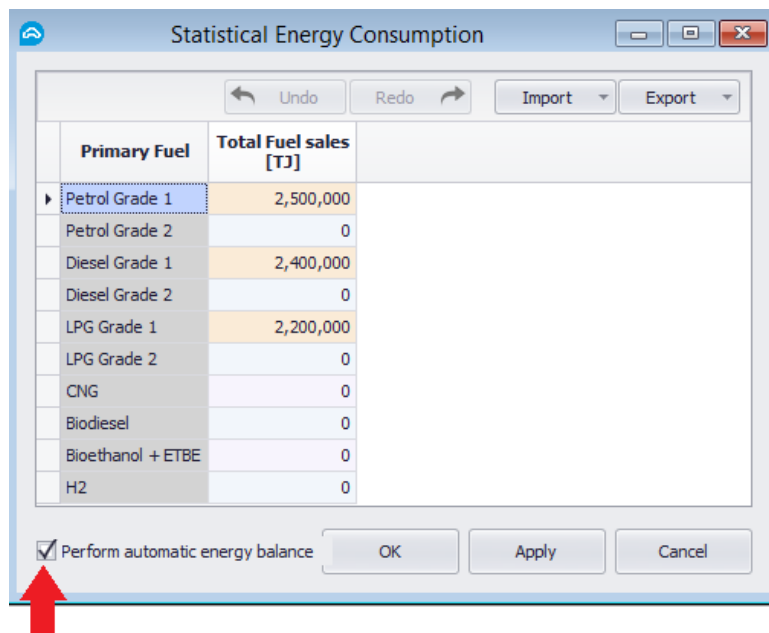


Рисунок 1.22 – Показники палива

Сьомим етапом є вибір класів автомобілів, що спостерігались під час збору натурних даних, зокрема автобуси, легкові автомобілі, вантажні автомобілі до 7 т та вантажні автомобілі понад 7 т з різними типами палива, конкретно бензин, дизель і газ. Дані вибирались таким чином, як на рисунку 1.23, біля кожного обраного автомобіля є помітка. Транспортні засоби обирались за типом «Еуро4» через те, що більшість транспортних засобів належать саме до цієї категорії.

Category	Fuel	Segment	Euro Standard	Include
Passenger Cars	Petrol	Mini	Euro 4	<input checked="" type="checkbox"/>
Passenger Cars	Petrol	Mini	Euro 5	<input type="checkbox"/>
Passenger Cars	Petrol	Mini	Euro 6 up to 2016	<input type="checkbox"/>
Passenger Cars	Petrol	Mini	Euro 6 2017-2019	<input type="checkbox"/>
Passenger Cars	Petrol	Mini	Euro 6 2020+	<input type="checkbox"/>
Passenger Cars	Petrol	Small	PRE ECE	<input type="checkbox"/>
Passenger Cars	Petrol	Small	ECE 15/00-01	<input type="checkbox"/>
Passenger Cars	Petrol	Small	ECE 15/02	<input type="checkbox"/>
Passenger Cars	Petrol	Small	ECE 15/03	<input type="checkbox"/>
Passenger Cars	Petrol	Small	ECE 15/04	<input type="checkbox"/>
Passenger Cars	Petrol	Small	Improved Conventional	<input type="checkbox"/>

Рисунок 1.23 – Вибірка з автомобілів

Наступним кроком є виведення даних про мінімальну швидкість, прийнята є 5 км/год, пробіг кожного транспортного засобу та кількість кожного виду транспорту (легкові, вантажні двох видів та автобуси), поділеного за типами палива(дизель, бензин та газ).

На рисунках 1.24-1.26 наведені дані для ранкового, обіднього та вечірнього піків відповідно.

Category	Fuel	Segment	Euro Standard	Stock [n]	Mean Activity [km]	Lifetime Cumulative Activity [km]	Fuel Balanced ~ Mean Activity [km]
Passenger Cars	Petrol	Mini	Euro 4	92	5	150,000	2,184,103,730.74
Passenger Cars	Diesel	Mini	Euro 4	93	5	150,000	1,970,402,096.34
Passenger Cars	LPG Bifuel	Mini	Euro 4	42	5	150,000	5
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid <=7,5 t	Euro IV	12	5	150,000	1,970,402,096.34
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 7,5 - 12 t	Euro IV	2	5	150,000	1,970,402,096.34
Buses	Diesel	Urban Buses Midi <=15 t	Euro IV	37	5	500,000	1,970,402,096.34

Рисунок 1.24 – Зведені показники пробігу, мінімальної швидкості, кількості ТЗ(ранковий пік)

Category	Fuel	Segment	Euro Standard	Stock [n]	Mean Activity [km]	Lifetime Cumulative Activity [km]	Fuel Balanced ~ Mean Activity [km]
Passenger Cars	Petrol	Mini	Euro 4	72	5	150,000	12,528,261,761.79
Passenger Cars	Diesel	Mini	Euro 4	79	5	150,000	5,279,676,962.78
Passenger Cars	LPG Bifuel	Mini	Euro 4	34	5	150,000	5
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid <=7,5 t	Euro IV	6	5	150,000	5,279,676,962.78
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 7,5 - 12 t	Euro IV	3	5	150,000	5,279,676,962.78
Buses	Diesel	Urban Buses Midi <=15 t	Euro IV	24	5	500,000	5,279,676,962.78

Рисунок 1.25 – Зведені показники пробігу, мінімальної швидкості, кількості ТЗ(обідній пік)

Category	Fuel	Segment	Euro Standard	Stock [n]	Mean Activity [km]	Lifetime Cumulative Activity [km]	Fuel Balanced ~ Mean Activity [km]
Passenger Cars	Petrol	Mini	Euro 4	112	5	150,000	12,528,261,761.79
Passenger Cars	Diesel	Mini	Euro 4	118	5	150,000	5,279,676,962.78
Passenger Cars	LPG Bifuel	Mini	Euro 4	51	5	150,000	5
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid <=7,5 t	Euro IV	8	5	150,000	5,279,676,962.78
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 7,5 - 12 t	Euro IV	1	5	150,000	5,279,676,962.78
Buses	Diesel	Urban Buses Midi <=15 t	Euro IV	35	5	500,000	5,279,676,962.78

Рисунок 1.26 – Зведені показники пробігу, мінімальної швидкості, кількості ТЗ(вечірній пік)

Наступним кроком є введення місця спостереження, потрібно вибрати між великим урбанізованим містом та територією за містом, як зображено на малюнку.

З рисунку 1.27 видно, що дані були зібрані на території міста, тому нижче позначки «Urban Peak (піковий час в межах міста)» навпроти кожної категорії транспортного засобу є відмітка «100%». Дослідження за межами міста не проводились, тому нижче решти всіх показників є «0%». На зображенні видно, що максимальною швидкістю в піковий час у місті прийняти 30 км/год.

Category	Fuel	Segment	Euro Standard	Share				Speed			
				Urban Peak [%]	Urban Off Peak [%]	Rural [%]	Highway [%]	Urban Peak [km/h]	Urban Off Peak [km/h]	Rural [km/h]	Highway [km/h]
Passenger Cars	Petrol	Mini	Euro 4	100%	0%	0%	0%	20	30	0	0
Passenger Cars	Diesel	Mini	Euro 4	100%	0%	0%	0%	20	30	0	0
Passenger Cars	LPG Bifuel	Mini	Euro 4	100%	0%	0%	0%	0	0	0	0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid <=7,5 t	Euro IV	100%	0%	0%	0%	20	30	0	0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 7,5 - 12 t	Euro IV	100%	0%	0%	0%	20	30	0	0
Buses	Diesel	Urban Buses Midi <=15 t	Euro IV	100%	0%	0%	0%	20	30	0	0

Рисунок 1.27 – Конкретизація місцевості

В десятому та одинадцятому пунктах відбувається автоматичний розрахунок викидів, що базується на даних введених та отриманих з попередніх пунктів. Ці пункти є важливими, бо саме вони виводять результати всього дослідження.

В дванадцятому пункті відображаються сумарні викиди різних хімічних речовин (CO, NO_x, VOC, N₂O, NH₃, SO, CO₂, CH₄, Pb, PM, HM, NMVOC), як зображено на рис.3.18-3.20 для ранкового, обіднього та вечірнього піків відповідно. Вибрано саме таку характеристику дослідження, бо завдання полягало у розрахунку викидів в залежності від кількості транспортних засобів, що пройдуть через поперечне січення досліджуваної ділянки транспортної мережі, у три пікові періоди доби (рисунки 1.28-1.30).

Category	Fuel	Segment	Euro Standard	Grand Total				
				Urban Off Peak [TJ]	Urban Peak [TJ]	Rural [TJ]	Highway [TJ]	Total [TJ]
Passenger Cars	Petrol	Mini	Euro 4	70.8792	2,499,929.1192	0	0	2,499,999.9985
	Diesel	Mini	Euro 4	0	653,280.6757	0	0	653,280.6757
	LPG Bifuel	Mini	Euro 4	0	0	0	0	0
Passenger Cars Total				70.8792	3,153,209.7949	0	0	3,153,280.6741
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid <=7,5 t	Euro IV	0	232,736.4671	0	0	232,736.4671
		Rigid 7,5 - 12 t	Euro IV	0	61,244.8369	0	0	61,244.8369
	Diesel Total			0	293,981.304	0	0	293,981.304
Buses	Diesel	Urban Buses Midi <=15 t	Euro IV	0	1,452,738.0203	0	0	1,452,738.0203

Рисунок 1.28 – Результати досліджень в ранковий пік

Category	Fuel	Segment	Euro Standard	Grand Total				
				Urban Off Peak [TJ]	Urban Peak [TJ]	Rural [TJ]	Highway [TJ]	Total [TJ]
Passenger Cars	Petrol	Mini	Euro 4	70.8789	2,499,929.1199	0	0	2,499,999.9988
	Diesel	Mini	Euro 4	0	780,919.3319	0	0	780,919.3319
	LPG Bifuel	Mini	Euro 4	0	0	0	0	0
Passenger Cars Total				70.8789	3,280,848.4518	0	0	3,280,919.3307
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid <=7,5 t	Euro IV	0	163,755.7888	0	0	163,755.7888
		Rigid 7,5 - 12 t	Euro IV	0	129,277.5048	0	0	129,277.5048
	Diesel Total			0	293,033.2936	0	0	293,033.2936
Buses	Diesel	Urban Buses Midi <=15 t	Euro IV	0	1,326,047.3745	0	0	1,326,047.3745

Рисунок 1.29 – Результати досліджень в обідній пік

Category	Fuel	Segment	Euro Standard	Grand Total				Total [TJ]
				Urban Off Peak [TJ]	Urban Peak [TJ]	Rural [TJ]	Highway [TJ]	
Passenger Cars	Petrol	Mini	Euro 4	70.8795	2,499,929.1186	0	0	2,499,999.9981
	Diesel	Mini	Euro 4	0	832,750.2741	0	0	832,750.2741
	LPG Bifuel	Mini	Euro 4	0	0	0	0	0
Passenger Cars Total				70.8795	3,332,679.3926	0	0	3,332,750.2722
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid <=7,5 t	Euro IV	0	155,879.5316	0	0	155,879.5316
		Rigid 7,5 - 12 t	Euro IV	0	30,764.8924	0	0	30,764.8924
	Diesel Total			0	186,644.4241	0	0	186,644.4241
Buses	Diesel	Urban Buses Midi <=15 t	Euro IV	0	1,380,605.3019	0	0	1,380,605.3019

Рисунок 1.30 – Результати досліджень в вечірній пік

У таблиці 13-15 наведені результати досліджень, зокрема кількість шкідливих викидів(CO, NO_x, VOC, N₂O, NH₃, SO, CO₂, CH₄, Pb, PM, NM, NMVOC) у атмосферу кожним з видів транспорту в різний період доби, зранку, в обід та ввечері. Всі показники в таблиці - є результатами зроблених досліджень на основі натурно зібраних даних за допомогою відеореєстратора, поділених на типи транспортних засобів та видами палива і опрацьованих в програмному продукті COPERT. Результати отримані після виконання 12 послідовних етапів, в котрі почергово вводились дані.

Таблиця 13 – Результати досліджень в ранковий пік

Клас автомобіля	Період дослідження		
	Ранковий пік		
	Диз.	Бенз.	Газ
Легкові	653280,6757	24999999,9985	-
Вантажні до 7 т	232736,4671	-	-
Вантажні понад 5 т	61244,8369	-	-

Автобуси	293981,304	-	-
----------	------------	---	---

Таблиця 14 – Результати досліджень в обідній пік

Клас автомобіля	Період дослідження		
	Обідній пік		
	Диз.	Бенз.	Газ
Легкові	780919,3319	2499999,9936	-
Вантажні до 7 т	163755,7888	-	-
Вантажні понад 7 т	129277,5048	-	-
Автобуси	293033,2936	-	-

Таблиця 15 – Результати досліджень в вечірній пік

Клас автомобіля	Період дослідження		
	Обідній пік		
	Диз.	Бенз.	Газ
Легкові	832750,2741	2499999,9981	-
Вантажні до 7 т	155879,5316	-	-
Вантажні понад 7 т	30764,8924	-	-
Автобуси	186644,4241	-	-

Результати досліджень виводяться в розмірних одиницях [ppm], що є характерними для викидів та для хімічних сполук. Існує онлайн-калькулятор, що дозволяє дані розмірні одиниці конвертувати в інші.

Результати наведені у таблицях 13–15 є сумарними за цілий рік при середньостатистичній інтенсивності, що було натурно досліджено.

У програмному проєкті «COPERT» є функція «Export», що дозволяє всі результати та дані автоматично перенести в одну з програм Windows Microsoft

«Excel 2010/2003» для подальшої роботи з таблицями. Приклад наведено на рисунку 1.31.

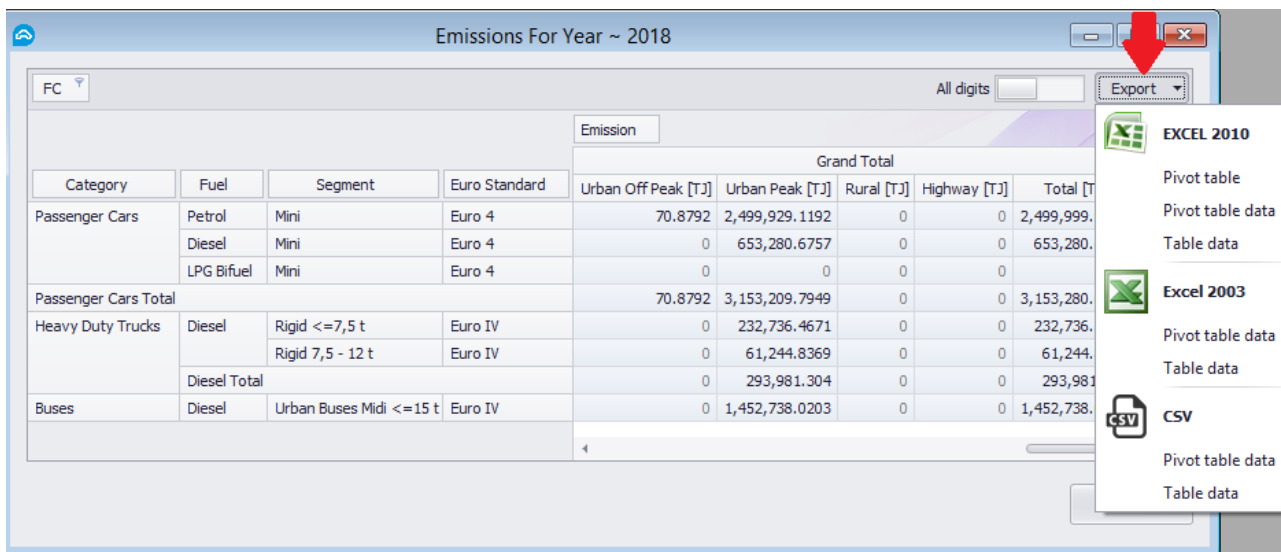


Рисунок 1.31 – Експорт даних

2.3. Економічна ефективність транспортних систем

2.3. Economic efficiency of transport systems

Транспортний комплекс є важливою складовою економіки держави, який забезпечує життєдіяльність суспільства. Нормальне, злагоджене функціонування всього комплексу залежить від роботи великої кількості структурних підрозділів. Вирішення завдання підвищення ефективності роботи транспортної галузі в цілому суттєво залежить не тільки від якісного здійснення вантажних перевезень, але і від зниження собівартості пасажирських перевезень. Тому проблема забезпечення економічного управління транспортним комплексом у сучасних умовах вимагає розробки цілісної системи заходів для усунення недоліків у сфері перевезень. У зв'язку із цим якісне вирішення названої проблеми прямо залежить від впровадження в практику сучасної техніки й новітніх технологій. Пріоритетним напрямком у діяльності транспортної галузі є також забезпечення ефективного використання основних фондів і особливо транспортних засобів (автобусів, поїздів, літаків, суден).

Ефективність транспортної системи

При дослідженні поняття «ефективність транспортної системи» спочатку необхідно означити, що ж таке «ефективність». В літературі зустрічається багато

різних трактувань цього терміну, зокрема, ефективність – це економічна категорія, що відображає співвідношення між одержаними результатами і витраченими на їх досягнення ресурсами, причому при вимірюванні ефективності ресурси можуть бути представлені або в певному обсязі за їх первісною (переоціненою) вартістю (застосовувані ресурси), або частиною їх вартості у формі виробничих витрат (виробничо-спожиті ресурси). Часто ефективністю називають здатність приносити результативність процесу чи проекту, яка визначаються відношенням цього результату до витрат, що забезпечили цей результат.

Економічна ефективність – це такий вид ефективності, що характеризує результативність діяльності економічних систем. Основна особливість таких систем – вартісний характер засобів (витрат, видатків) досягнення результатів (цілей), а інколи і самих цілей.

Вивчення питань ефективності на рівні транспортної системи, дозволяє виявити взаємозв'язок транспорту з іншими галузями, а також провести аналіз внутрішньогалузевих особливостей, що впливають як на саму транспортну систему, так і на інші галузі.

Отже, під ефективністю транспортної системи, можна розуміти певну її характеристику. Ефективна транспортна система, це така система, яка дає можливості для розвитку різних сторін економіки та суспільства, які виражаються в наданні якісних і доступних транспортних послуг. Розмірковуючи про економічну ефективність транспортної системи, можна додати, що під ефективною транспортною системою з економічної точки зору, можна мати на увазі таку транспортну систему, яка надає якісні та доступні послуги з оптимальними для транспортної системи витратами.

Застосування такого підходу до визначення економічної ефективності транспортної системи вимагає проведення додаткових досліджень взаємозв'язку результатів роботи транспортної системи (які виражаються в обсягах надання якісних і доступних транспортних послуг) та витрат транспортної системи на отримання таких результатів (рис. 1.32). Також важливо визначити, що необхідно розуміти під якісними і доступними послугами, а також методи, що дозволяють виділити послуги, що відповідають цим вимогам, із загального обсягу послуг, наданих транспортною системою за досліджуваний період.



Рисунок 1.32 – Суть економічної ефективності транспортної системи

Підвищення ефективності виробництва характеризується більш повним задоволенням потреб суспільства. Продукцією транспортної системи є перевезення/переміщення вантажів/пасажирів. Виникає необхідність визначення та класифікації чинників, які здійснюють найістотніший вплив на рівень ефективності транспортної системи (табл. 16).

Таблиця 16 – Класифікація чинників впливу на економічну ефективність транспортних систем

№ з/л	Чинники впливу
1	Технічні: - тип рухомого складу - тип навантажувально-розвантажувальних механізмів - тип місця розвантаження - технічний стан доріг
2	Технологічні: - номенклатура вантажів, що перевозяться - використання вантажності рухомого складу - коефіцієнт ходового часу, простою під вантажними операціями, холостого пробігу рухомого складу - схеми встановлення рухомого складу під навантаження; - схеми перевантажувальних робіт в пунктах перевалки - коефіцієнти використання робочого часу перевантажувального і складського обладнання

	<ul style="list-style-type: none"> - надійність засобів перевезення, перевантажувального і складського обладнання - інтенсивність перевантажувальних робіт
3	<p>Економічні:</p> <ul style="list-style-type: none"> - тарифи на перевезення, перевантаження та зберігання вантажів - експлуатаційна затрати на перевезення, перевантаження і зберігання вантажів - вартість основних виробничих фондів - вартість оборотних засобів - премії за дострокову обробку рухомого складу - штрафи за несвоєчасну обробку та за не збережену доставку вантажів
4	<p>Організаційні:</p> <ul style="list-style-type: none"> - рівень наукової організації праці, управління і виробництва - оперативне планування, аналіз та облік переміщення вантажів - укріплення трудової дисципліни - проведення режиму економії.

Така класифікація вказує на залежність рівня ефективності від усіх груп чинників, дозволяє досліджувати вплив окремих чинників так і їх сукупності. При цьому одні чинники здійснюють вплив на декілька показників, інші – лише на один, проте разом вони визначають інтегрований показник «економічна ефективність транспортної системи».

Показники економічної ефективності транспортної системи можна систематизувати (табл. 17).

Таблиця 17 – Показники економічної ефективності функціонування транспортних систем

№ з/л	Показники економічної ефективності
1	<p>Узагальнюючі:</p> <ul style="list-style-type: none"> - об'єм доставленого вантажу, т, од. - дохід на 1 т - прибуток на 1 т - собівартість доставки 1 т
2	<p>Часткові:</p> <ul style="list-style-type: none"> - виробіток на 1 людину виробничого персоналу
3	<p>Ефективності використання живої праці:</p> <ul style="list-style-type: none"> - трудомісткість доставки 1 т

	<ul style="list-style-type: none"> - частки приросту доходів від доставки вантажів за рахунок зростання продуктивності праці - абсолютне та відносне вивільнення виробничого персоналу за рахунок зростання продуктивності праці - абсолютна і відносна економія фонду заробітної плати
4	Ефективності використання виробничих фондів і капіталовкладень: <ul style="list-style-type: none"> - фондівіддача - фондоємність доставки 1 т вантажу - значення прибутку на 1 грн. капітальних вкладень - термін окупності капітальних вкладень
5	Ефективності використання палива та електроенергії: <ul style="list-style-type: none"> - витрати палива та електроенергії на доставку 1 т - коефіцієнт корисного використання палива
6	Ефективності якості продукції: <ul style="list-style-type: none"> - частка вантажів терміни доставки яких не перевищили нормативних - частка вантажів, які доставлені збереженими - доходи (збитки) через скорочення (подовження) термінів доставки вантажів на 1 грн. доходів (збитків) - збитки через доставку вантажів не збереженими на 1 грн. витрат

Система показників економічної ефективності транспортних систем є інструментом підвищення її функціонування, оскільки її розробка та використання засноване на пізнанні економічних законів та досягненні високих результатів.

Критерії ефективності транспортної системи

Економічна ефективність має бути оцінена за певними критеріями, які виступають мірилом оцінювання. В економічній літературі зустрічається різноманіття поглядів щодо показників економічної ефективності, методики їх розрахунку та аналізу.

Показник ефективності – це фактично відповідність реального результату необхідному. Основною вимогою при виборі показника ефективності є його відповідність меті функціонування системи, тобто кінцевим результатом.

Критерієм ефективності, в загальному випадку, вважають правило, яке дозволяє зіставляти стратегії управління, які характеризуються різним ступенем досягнення мети та здійснювати вибір стратегій з переліку допустимих.

Критерій ефективності в транспортній галузі – це форма якісно-кількісного вираження мети транспортного обслуговування населення, в якій проявляється вся система взаємозв'язків і взаємодій транспортної мережі.

Складність і труднощі полягають у тому, що немає єдності в розумінні та визначенні критерію ефективності транспортної системи.

Сьогодні під критерієм оптимальності системи розуміються її вартісні показники, тобто, певний рівень розвитку транспортних засобів при найменших експлуатаційних витратах.

При порівнянні економічності різних видів транспорту (заходів з удосконалення роботи та розвитку) використовують узагальнений вартісний показник – зведені витрати. Найбільш ефективним є транспорт, який може виконати необхідний обсяг перевезень із найменшими сумарними зведеними витратами. Цей показник визначається за формулою:

$$E = C + E_i \cdot k, \quad (1.52)$$

де C – поточні економічні витрати, грн.; E_i – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень; k – потрібні капітальні вкладення, грн.

Економічна природа експлуатаційних витрат і капітальних вкладень різна. Експлуатаційні витрати здійснюється безперервно, протягом усього періоду часу функціонування виду транспорту, а капітальні – поетапно або одноразово (епізодично). Технічні засоби транспорту використовуються тривалий час (протягом багатьох років). Тому капітальні вкладення не можна складати з експлуатаційними витратами, а необхідно щорічно брати лише встановлену частку (відсоток), що враховується коефіцієнтом E_i .

Оцінка ефективності господарських заходів визначається різницею між результатами виробництва та витратами виробничих ресурсів.

Необхідними початковими показниками для розрахунку економічної ефективності є: обсяг капіталовкладень та експлуатаційних витрат. Для цього використовують показник сумарних зведених витрат, що дає можливість розглядати капіталомісткість системи перевезень – з точки зору витрат на її функціонування.

Необхідно враховувати, що капіталовкладення та експлуатаційні витрати за своєю суттю різні категорії вартісних показників, мають різні розмірності (капіталовкладення визначаються на весь період будівництва транспортних споруд, а експлуатаційні витрати розраховуються за рік їх роботи), тому їх сумувати не можна.

Одним з узагальнюючих показників експлуатаційної діяльності транспортного підприємства є собівартість перевезень. Експлуатаційні витрати являють собою

поточні витрати по експлуатації, забезпечення і ремонт транспортних споруд, рухомого складу та обладнання, а також витрати по утриманню обслуговуючого персоналу. До експлуатаційні витрат також відносяться витрати за такими статтями: заробітна плата з нарахуваннями, амортизаційні відрахування, всі види ремонтів пристроїв і рухомого складу, паливо та електроенергія, матеріали, всі поточні витрати тощо. За цим показником можна досить точно охарактеризувати роботу кожного виду транспорту.

Узагальнюючим показником економічної ефективності автомобільних перевезень є коефіцієнт рентабельності. Для оцінки загальної ефективності капітальних вкладень у транспортну галузь використовують коефіцієнт рентабельності, що визначається за формулою:

$$E_p = \frac{\Delta\Pi}{K}, \quad (1.53)$$

де $\Delta\Pi$ – приріст прибутку за рік, грн.; K – капітальні вкладення у виробничі засоби галузі за рік, грн.

Існуючі методи визначення економічної ефективності в застосуванні до автомобільного транспорту не досконалі, не об'єктивні у сформованій системі техніко-економічних показників оцінки його роботи. Показники ефективності повинні бути орієнтовані на вирішення більш широких соціально-економічних завдань. Такі показники, як ціна, прибуток, доходи, можливо, є нормальною відправною точкою для визначення оптимального співвідношення, хоча і не єдиною. Але вони не можуть повною мірою охарактеризувати досягнення стану на предмет чи є він найкращим з можливих.

З урахуванням багатоаспектності функціонування системи автомобільного транспорту застосування для оцінки її ефективності одного критерію є недостатнім. Необхідно використовувати багатокритеріальний підхід, що передбачає оцінювання ефективності функціонування транспортної системи за певними показниками, які у сукупності утворюють інтегральний критерій.

Показники економічної ефективності функціонування системи автомобільного транспорту повинні всебічно характеризувати явища та процеси, що відбуваються в ній.

Методи і моделі оцінки впливу транспортних проектів на економічний розвиток

На практиці поширені три ключові підходи, які використовуються для оцінки, порівняння та вибору проектів у транспортній сфері:

- аналіз «вигода-витрати» (Benefit-cost analysis, далі ВСА);
- аналіз сукупного економічного ефекту (Economic impact analysis);
- багатофакторний аналіз (Multi-criteria analysis).

Відповідно до *аналізу «вигода-витрати»*, ефект необхідно вимірювати кількісно з можливістю оцінки в грошовому вираженні, а також з урахуванням розподілу в часі, що дає можливість розрахунку зведеної вартості всіх вигод і витрат. Далі отримані результати можуть бути виражені у вигляді вигоди від реалізації проекту (чистий прибуток з урахуванням витрат) або у вигляді коефіцієнта відношення загального чистого прибутку до понесених витрат.

При *аналізі сукупного економічного ефекту* вплив від проектів, як правило, оцінюється з точки зору наступних показників:

- приріст випуску продукції підприємств;
- чистий приріст доходів;
- створення нових робочих місць;
- приріст інвестицій.

Цей метод оцінки включає наступні ефекти:

- прямі ефекти, які призводять до зміни грошових потоків;
- ефекти спрямовані на соціальну сферу, але не мають прямого впливу на грошові потоки.

Ефекти першої категорії включають в себе економію на операційних витратах або чистому доході. Сюди можна віднести економію витрат на експлуатацію транспортних засобів, а також економію робочого часу для вантажних і комерційних перевезень. Зниження витрат відбувається завдяки тому, що працівники можуть обслуговувати більшу кількість клієнтів протягом робочого дня або виконувати доставку за більш короткий період часу, що позначається на їх продуктивності. Однак економія часу для особистих поїздок частіше відноситься до другої категорії – ефектів, які мають реальну цінність для людей, але не призводять до помітних змін в структурі доходів або витрат в економіці.

У підході *«вигода-витрати»* оцінюються лише ті показники, які потім можуть бути порівняні з витратами – головним чином, це доходи (державні або приватні). При цьому підхід *сукупного економічного ефекту* включає також аналіз деяких інших економічних категорій (робочі місця, доходи, рухливість населення тощо),

які не обов'язково порівнювати з витратами. Таким чином, складова частина «вигода» в *BCA* є спрощеним аналогом сукупного економічного впливу.

Багатофакторний аналіз є досить специфічним методом, який використовують з конкретною метою, найчастіше для порівняння проектів та складання рейтингів. Відповідно до нього, ефекти оцінюються через кількісні рейтинги або якісні оцінки. Такий підхід дозволяє розглядати й оцінювати найбільш широкий спектр позитивних і негативних ефектів, а також аналізувати вплив від реалізації проектів на діяльність підприємств. Сюди можна віднести такі категорії оцінок:

- конкурентоспроможність бізнесу (зміна операційних витрат підприємств);
- завантаженість та ефективність логістичних систем підприємства (зростання надійності при доставці вантажів);
- доступність робочих місць (зміна ринку праці);
- ринки експорту (зміна інтермодального зв'язку).

Розглянуті вище підходи включають в себе набір показників та індикаторів, необхідних для оцінки інфраструктурного проекту. Вибір того чи іншого підходу обумовлений метою оцінки ефектів. Наприклад, якщо ініціатором оцінки виступає держава, то відповідному регулюючому органу, як правило, необхідна оцінка, проведена відповідно до затверджених методик та на основі офіційних або, як мінімум, даних, які можна легко перевірити. В такому випадку, як показує досвід, частіше використовується підхід *BCA*. Однак, часто необхідна більш повна оцінка впливу запланованого проекту на всі сфери життя країни (обґрунтування інвестицій, бізнес-план, концесійна заявка тощо). Тоді зазвичай використовується *аналіз сукупного економічного ефекту*.

Моделі оцінки економічних ефектів. Моделі, які використовуються для оцінки майбутніх ефектів, можуть значно відрізнятися і включати різні алгоритми обчислення та набори початкових даних. Серед основних моделей оцінки впливу розвитку інфраструктурних проектів на економіку регіону або країни можна виділити такі:

- моделі міжгалузевого балансу (моделі «витрати-випуск», input-output models);
- land-use transport interaction models (LUTI або міські транспортні моделі);
- моделі загальної рівноваги (computable general equilibrium models, CGE);
- економетричні моделі.

Моделі міжгалузевого балансу (підхід «витрати-випуск»). Такі моделі використовуються для підрахунку міжгалузевих зв'язків, що виникають внаслідок

збільшення попиту та споживання в одному певному секторі. Наприклад, будівництво транспортного об'єкта призводить до збільшення виробництва, споживання та зайнятості в обробних галузях промисловості, таких, як металургія, виробництво будівельних матеріалів, скла тощо, які є постачальниками. Крім цього, за допомогою таких моделей можна також відстежувати непрямі ефекти, що виникають із-за скорочення транспортних витрат і тривалості в дорозі.

Серед переваг моделей такого типу виділяють:

1. Через велике розмаїття джерел, які використовуються при створенні таблиць «витрати-випуск», і їх важливості в системі національних рахунків, точність зібраних даних піддається ретельній перевірці статистичними державними органами. Таблиці «витрати-випуск», складені на основі реальних даних, дозволяють краще прогнозувати економічні наслідки, ніж моделі, засновані на теоретичних припущеннях. Збір первинних даних для створення початкових таблиць «витрати-випуск» в більшості країн відбувається відповідно до міжнародних методик, що забезпечує їх певну уніфікацію.

2. Структура таблиць міжгалузевого балансу дозволяє аналізувати зміни, у тому числі в комплексних виробничих процесах, які включають взаємодію різних підприємств на різних етапах виробництва. Таблиці міжгалузевого балансу дозволяють відстежувати зв'язки між секторами економіки і проводити чисельну оцінку економічних ефектів.

Недоліки аналізу «витрати-випуск» в основному пов'язані з обмеженнями, що виходять від базових припущень самого підходу:

1. Базові припущення:

- фіксовані технологічні коефіцієнти, враховують незмінність промислової структури, незважаючи на мінливість економічної кон'юнктури, що робить таку модель статичною;
- припущення, засноване на лінійних рівняннях, які пов'язує результати однієї галузі зі вкладом в інших, видається мало реалістичним, тому що збільшення обсягів виробництва не завжди вимагає пропорційного збільшення необхідних ресурсів;
- постійна віддача від масштабу;
- відсутність обмежень в обсягах ресурсів.

2. Тимчасова доступність інформації: іншим можливим обмеженням використання *моделей міжгалузевого балансу* є трудомісткість при складанні таблиць «витрати-випуск» і, як наслідок, запізніла їх доступність.

3. Проблема подвійного рахунку: ситуація, коли збільшення виробництва в одній галузі може бути використано в якості вступу до іншої галузі і може враховуватися більш ніж один раз. Проблема подвійного рахунку може бути врахована за допомогою мультиплікатора валової доданої вартості.

У світовій практиці є певна кількість перевірених, розвинених і вдосконалених *моделей міжгалузевого балансу*, які використовуються на державному рівні.

RIMS II. Бюро Економічного Аналізу США (BEA), яке є агентством міністерства торгівлі США, розробило методологію оцінки регіональних ефектів, що отримала назву *RIMS II* (Regional Input-Output Modeling System).

В основі розрахунків моделі *RIMS II* знаходяться таблиці «витрати-випуск», які, як було сказано вище, показують обсяг виробництва товарів і послуг в розрізі галузей споживання цих товарів і послуг іншими галузями та кінцевими користувачами. Як і більшість міжгалузевих моделей, *RIMS II* коригує такі значення в залежності від виробничої структури регіонів, які досліджуються за допомогою технічних коефіцієнтів.

Аналогічно іншим *моделям міжгалузевого балансу*, *RIMS II* ґрунтується на певних припущень, зокрема:

1. Модель зворотного зв'язку, в якій збільшення попиту на кінцеву продукцію призводить до збільшення попиту на сировину. (В моделях прямого зв'язку збільшення поставок ресурсів призводить до збільшення пропозиції продукції). Так, при будівництві дорожнього об'єкта, модель *RIMS II* буде розглядати збільшення попиту на ресурси, необхідні для реалізації запланованого проекту, а не збільшення попиту в галузях-постачальниках.

2. Фіксована структура споживання: при використанні моделі передбачається, що сектори промисловості не змінюють співвідношення сировинних ресурсів, необхідних для операційної діяльності. Таким чином, для подвоєння випуску товарів і послуг підприємство повинно подвоїти весь обсяг споживаних ресурсів. Тут можна виявити лінійну залежність, яка в певній мірі спотворює реальність.

3. Відсутність ресурсних обмежень: моделі міжгалузевого балансу відносяться до моделей з фіксованою ціною, тому що вони не передбачають коригування цін у відповідь на обмеження пропозиції.

4. *RIMS II* розглядає обсяги кожної галузі в регіоні щодо її обсягів в масштабі країни. Однак модель спотворює показники в випадку перехресних перевезень товарів і послуг (наприклад, коли товар або послуга є одночасно імпортом і експортом регіону).

5. Відсутність міжрегіональних зв'язків. *RIMS II* – це модель регіональної оцінки, і тому вона не враховує ефекти, які можуть з'являтися між окремими регіонами країни.

Існує ряд переваг використання *RIMS II*. По-перше, доступність початкових даних забезпечує простоту та низькі витрати використання наведеної моделі. По-друге, рівень деталізації моделі допомагає уникнути помилок агрегації, які часто виникають при об'єднанні галузей.

IMPLAN (Impact Analysis for PLANing) – комерційна модель оцінки ефектів, так само, як і *RIMS II* заснована на моделі міжгалузевого балансу, яка використовує дані для більш ніж 500 різних галузей при розрахунку різних мультиплікаторів на рівні регіонів і країни.

Дані по міжгалузевому балансу надаються державними статистичними органами (U. S. Bureau of Labor Statistics and the Bureau of Economic Analysis). Однак на відміну від моделі *RIMS II*, що надає користувачам таблиці з мультиплікаторами, використовувати які для розрахунку економічних ефектів необхідно вручну, *IMPLAN* є повністю автоматизованою системою моделювання, яка застосовує вбудовані коефіцієнти для оцінки прямих і непрямих впливів.

Ця модель була розроблена в 1984 р. Головними її перевагами є: простота використання, можливість міжрегіонального моделювання, аналіз податкових ефектів, адаптивність. Однак є ряд обмежень: ціна, статичність, непрозорість (в порівнянні з *RIMS II*).

Програмна модель *IMPLAN* генерує регіональні коефіцієнти споживання, щоб оцінити частку попиту на товар або послугу, які зустрічаються в певному регіоні. Як і *RIMS II*, *IMPLAN* – статична модель і не відображає динаміку зміни регіональної економіки в часі. Вона, як і більшість міжгалузевих моделей, передбачає, що рівень заробітної плати, ціни, обсяг витрат, пропозиція на ринку праці, продуктивність та інші ключові змінні залишаються незмінними.

Уряд США використовує модель *IMPLAN* при проведенні багатьох досліджень економічної ефективності. Модель належить компанії MIG Inc. (Minnesota IMPLAN Group), яка займається оновленням технічних параметрів і обслуговуванням користувачів.

REMI (Regional Economic Models Inc.) – модель прогнозування та імітаційного моделювання, яка поєднує в собі облік таблиць «витрати-випуск» для визначення взаємозв'язків між галузями промисловості з трьома додатковими підходами до моделювання: загальна рівновага, економетрика та нова економічна географія.

Функція загальної рівноваги дозволяє *REMI* враховувати динамічні зміни в економіці з плином часу, такі, як коливання цін, рівні заробітної плати, міграція, продуктивність тощо. Таким чином, *REMI* враховує тенденцію економіки до досягнення точки рівноваги, коли попит і пропозиція збалансовані. *REMI* використовує економетричні рівняння та передові статистичні методи для кількісної оцінки зв'язків між змінними в своїй моделі. Нові аспекти економічної географії *REMI* відображені в рівняннях, які включають просторові виміри регіональної економіки, такі, як економія витрат та інші вигоди, які виникають, коли фірми чи галузі розташовуються в безпосередній близькості одна від одної.

Шляхом інтеграції декількох підходів до моделювання *REMI* виходить далеко за рамки стандартних моделей міжгалузевого балансу, таких, як *RIMS II* і *IMPLAN*, щоб забезпечити багаторічне прогнозування та розширений аналіз економічних ефектів і впливів. В результаті ліцензія на *REMI* значно дорожча, ніж для більшості інших моделей.

LUTI моделі. В основі таких моделей лежить припущення, що поліпшення доступності може підвищити привабливість території для людей, позитивно вплинути на розвиток економічної діяльності розглянутих регіонів, а також підвищити вартість нерухомості.

Таким чином, ключовою галуззю дослідження *LUTI* було розуміння довгострокової поведінки домашніх господарств з точки зору вибору місця розташування, роботи та просторового пересування. По суті, моделі *LUTI* використовуються для оцінки агломераційних ефектів. Ці моделі також використовують для моделювання наслідків впровадження нової політики і реалізації проектів (в першу чергу, у сфері транспорту) в існуючі міські системи.

Однією з найбільш відомих моделей такого типу є *MEPLAN* – це математичний алгоритм і програмний продукт, призначений для моделювання економіко-географічного розвитку міст і регіонів. Модель *MEPLAN* була розроблена на початку 1980-х приватною компанією Marcial Echenique & Partners Ltd. В якості початкових даних модель використовує інформацію про міжгалузевий баланс. Модель використовувалася для визначення ефектів від розвитку транспортних систем Лондона, Гельсінкі.

Моделі загальної рівноваги (Computable General Equilibrium Approach). Розрахункові моделі загальної рівноваги (Computable General Equilibrium Approach – *CGE*) – вид нелінійних моделей, що описують взаємодію секторів економіки: домашніх господарств, галузей економіки, решти світу, громадського сектора.

Домашні господарства, як правило, описуються за допомогою моделі максимізації корисності та бюджетного обмеження. Її розв'язком є функції попиту на товари і послуги, пропозиція праці. Ефекти від транспортної інфраструктури враховуються у вигляді вивільнення часу для праці та відпочинку, збільшення витрат на послуги та розвитку людського капіталу.

Реальний сектор описується у вигляді завдання мінімізації витрат за умови нульового прибутку (рідше – у вигляді завдання максимізації прибутку) і заданих виробничих функціях (Кобба-Дугласа або постійної еластичності заміни *CES*). У разі багатогалузевих *CGE-моделей* вони можуть доповнюватися блоком міжгалузевого балансу. Результатом розв'язання оптимізаційної задачі реального сектора є функції попиту на працю та капітал, на продукцію інших галузей, а також пропозиції товарів для вітчизняних і зарубіжних ринків (експорт).

Ефекти від розвитку транспортної інфраструктури враховуються через вплив на сукупну факторну продуктивність (ефект масштабу), зниження собівартості продукції та цін, зростання конкурентоспроможності, збільшення виробництва і зайнятості, нарощування інвестицій і зовнішньої торгівлі.

Таким чином, *CGE-моделі* являють собою комплексну систему нелінійних рівнянь, що описують одночасно рівновагу на ринках праці, капіталу, товарів та послуг. Результатом вирішення цієї системи є зрівноважені обсяги виробництва і цін, зайнятості і заробітних плат, експорту та імпорту, інвестицій, відсоткової ставки та курсів обміну валют.

Деякі *CGE-моделі* включають неспостережений сектор, враховують взаємодію економіки та екології, вплив науково-технологічного прогресу тощо.

Важливою перевагою *CGE-моделей* є можливість аналізу ефектів добробуту (*welfare effects*). Завдяки цьому вони використовуються для розробки і оптимізації заходів державної економічної політики, для розрахунку компенсацій різним групам населення та субсидій підприємствам реального сектора.

Іншою стороною використання *CGE-моделей* є їх складність та необхідність використання спеціального програмного забезпечення. Для калібрування параметрів необхідні спеціальні дані (*social accounting matrix*), підготовка яких є окремою методичною задачею. Серйозним обмеженням *CGE-моделей* є передумова про рівновагу всієї економічної системи в кожен період часу. Для подолання цієї проблеми використовується інший клас моделей – динамічні стохастичні моделі загальної рівноваги.

Серед найбільш відомих моделей такого класу можна виділити такі:

1. *Modelling International Relationships in Applied General Equilibrium (MIRAGE)* – це багатогалузева модель загальної рівноваги, що застосовується в країнах Європейського союзу, спочатку призначена для аналізу торгової політики, а останнім часом використовується для аналізу довгострокового зростання і екологічних проблем. Дана модель враховує такі параметри, як чинник недосконалої конкуренції, диференціації продукції за якістю і походженням, а також прямих іноземних інвестицій. Періодичне коригування моделі відбувається через перерозподіл запасів капіталу через амортизацію та інвестиції. Модель розроблена організацією СЕРІІ (Франція), що є одним з лідируючих світових науково-дослідних центрів, які аналізують розвиток міжнародної економіки.

2. Центр політичних досліджень (The Centre of Policy Studies, CoPS), розташований в Австралії, створив цілий ряд *моделей CGE*, першою з яких стала модель *ORANI* (багатогалузева модель економіки Австралії), розроблена в кінці 1970-х років. Пізніше на її основі були створені вдосконалені динамічні моделі, однією з найбільш відомих стала модель *MONASH* (згодом перейменована в *VU-National*). Ця динамічна модель загальної рівноваги (*CGE*) була створена для аналізу економіки Австралії, в тому числі для прогнозування майбутніх показників. Модель використовується для оцінки змін в технологіях і споживчих перевагах, ретроспективного аналізу з точки зору рушійних чинників, розробки прогнозів по галузях, регіонах і професіях, аналізу ефектів від зміни економічної політики країни, як відхилення від попередніх прогнозів. Поточні версії моделі *VU-National* розрізняють до 140 галузей, 56 регіонів і 340 професій.

3. Модель *RELU-TRAN* призначена для моделювання розвитку міських систем. Вона одночасно включає традиційний економічний блок і транспортний блок і описує поведінку домашніх господарств, підприємств реального сектора, будівництва. В частині поводження домашніх господарств *RELU-TRAN* моделює формування доходів населення, пропозиція праці в різних частинах міста, вибір між орендою і купівлею житла, розвиток роздрібною торгівлі (з урахуванням витрат часу на проїзд від місця проживання до магазинів і витрати палива), а також вибір виду транспорту для пересування (на основі імовірнісних моделей).

Модель описує розвиток бізнесу в місті, включаючи виробництво, торгівлю, послуги, будівництво орендного та власного житла, комерційної нерухомості, а також взаємозв'язку між ними.

Виходячи з концентрації місць проживання, місць роботи та вибору виду транспорту, моделюються транспортні потоки між районами міста і оцінюються витрати часу на дорогу.

Важливою перевагою *CGE-моделей* є те, що за рахунок наявності мікроекономічного фундаменту вони дозволяють аналізувати вплив державної політики при розробленні різних заходів.

Зокрема, модель *RELU-TRAN* використовувалася для оцінки ефектів у Чикаго і на добробут жителів при введенні плати за проїзд в різних районах міста.

Економетричні методи є досить великими з точки зору можливостей прикладного використання. Фактично за допомогою економетрики можуть виконуватися як самостійні дослідження, включаючи прогнозування показників, аналіз історичних даних, пошук коефіцієнтів еластичності тощо, так і проводитися допоміжні розрахунки в рамках створення моделей загальної рівноваги, *LUTI-моделей*. У зв'язку з цим економетрику складно назвати окремим підходом до оцінки ефектів, скоріше це є інструментом, як самостійним, так і допоміжним. Тим не менше, використання економетричних методів широко розповсюджено при створенні програмних продуктів для оцінки ефектів від розвитку інфраструктури.

TREDIS. Одним з останніх розроблених програмних продуктів оцінки соціально-економічних ефектів від транспортних проєктів є модель *The Transport Economic Development Impact System (TREDIS)*. *TREDIS* є комерційним продуктом, проте, незважаючи на це, широко використовується державними органами у сфері транспортного регулювання в США, Канаді та Австралії.

Така модель є комплексним інструментом оцінки і прогнозування соціально-економічних ефектів. *TREDIS* включає в себе економетричну систему аналізу, але, як і метод *CGE*, включає елементи аналізу вартості та ціни, а також їх динамічні зміни. Описаний метод найбільш близький по деталізації аналізу, точності прогнозування і можливостях досліджень до моделей *REMI*, однак має ряд переваг. Модель дозволяє проводити аналіз економічного впливу без просунутих навичок моделювання, необхідних при застосуванні методу *CGE* або моделей *REMI*. Використання *TREDIS* економічно вигідно, так як ця модель є абсолютно автоматизованою, і аналіз може бути проведений через Інтернет, а його вартість набагато нижча, ніж створення спеціальної моделі *CGE* і *REMI*.

Модель *TREDIS* складається з чотирьох взаємопов'язаних модулів: транспортні витрати, доступ до ринків, аналіз «витрати-вигоди», економічні коригування:

1. Модуль транспортних витрат оцінює витрати для пасажирів і транспортування вантажів по типу транспорту (приватний автомобіль, службовий автомобіль, вантажний транспорт, автобус, поїзд тощо), за двома можливими сценаріями: базовий сценарій та сценарій зі здійсненим проєктом.

2. Модуль доступу до ринків оцінює агломераційні ефекти та ефекти масштабу, які є наслідком скорочення часу на поїздки і витрат.

3. Модуль економічних коригувань застосовує динамічне, міжрегіональне моделювання економічного впливу для оцінки ефектів на виробництво, ВВП, рівень зайнятості та розмір заробітної плати.

4. СВА аналіз розраховує чисту наведену вартість проекту та інші фінансові показники. Окремі модулі фінансування оцінюють доходи від оподаткування та товарні потоки і додаткові наслідки впливу економічного зростання.

Тема 3. Людина і вплив на навколишнє середовище, безпека та стійкість **Theme 3. Human and environmental impact on the security and stability of urban logistics**

Льченко А.В., Кравченко О.П.
Ilchenko Andrii, Kravchenko Oleksandr

3.1. Вплив на навколишнє середовище **3.1. Impact on the environment**

Перш за все треба зазначити великий вплив транспорту міст на навколишнє середовище через викиди токсичних компонентів відпрацьованих газів. Це пов'язано також з особливостями роботи міського транспорту (режими руху, тривалий час робота на зупинках тощо). Тобто міський транспорт є суттєвим джерелом забруднення повітря, що впливає на екологічну ситуацію особливо у великих містах. Одним з шляхів зменшення забруднення повітря від транспортних засобів є використання альтернативних палив, які дають менше викидів токсичних компонентів у відпрацьованих газах двигунів.

Використання альтернативних палив для транспортних засобів з двигунами внутрішнього згорання як шлях зменшення забруднення повітря.

Треба зазначити, що паливо використовується не лише двигунами рухомого складу транспортної системи міста, а ще і двигунами, що забезпечують потреби стаціонарних об'єктів транспортного комплексу. Але вплив останніх на загальні викиди від транспорту можна вважати незначними у порівнянні з викидами двигунів рухомого складу, що використовують моторні палива.

Традиційне моторне паливо є продуктом переробки нафти з різними домішками для покращення його експлуатаційних властивостей.

Усі альтернативні палива умовно поділяються на групи:

- видобувне та супутнє газоподібне;
- синтезоване та гідролізне;
- що отримано з відновлюваних ресурсів;
- нафтове з домішками.

До першої групи відносяться: стиснений природний газ (СПГ) і зріджений нафтовий газ (ЗНГ). Стиснений природний газ складається в основному з метану CH_4 (82–99 %). СПГ переважно використовують на автотранспорті у балонах під тиском до 20 МПа.

СПГ має екологічні переваги у порівнянні з традиційними моторними паливами: при згоранні утворює менше вуглекислого газу та більше водяної пари (на 1 кг спаленого СПГ вуглекислого газу на 25% менше у порівнянні на 1 кг спаленого бензину); через хорошу змішувальність СПГ з повітрям у відпрацьованих газах зменшується кількість CO ; відпрацьовані гази мають низький вміст твердих частинок; суттєво знижуються викиди NO_x через можливість спалювати СПГ при високому коефіцієнті надлишку повітря (до 2), що знижує температуру в камері згорання.

До недоліків слід віднести нижчу у порівнянні з бензином теплотворну здатність, що знижує потужність двигуна на 15 ÷ 20 %; викиди метану в атмосферу сприяють парниковому ефекту.

ЗНГ являє собою суміш пропану та бутану з додаванням до 3 % одоризаторів. Він зріджується за нормальної температури та тиску 1,6 МПа. На автомобілі його використовують в балонах під тиском 1,7 МПа. При переведенні бензинового двигуна на ЗНГ його потужність знижується.

Треба зазначити, що застосування СПГ та ЗНГ в якості палива для автомобілів з двигунами внутрішнього згорання дозволяє суттєво знизити токсичність відпрацьованих газів: оксиду вуглецю (CO) у 3-4 рази; оксидів азоту (NO_x) у 1,2–2,0 рази; вуглеводнів (C_nH_m) у 1,2–1,4 рази. При роботі дизельного двигуна на СПГ та ЗНГ димність в режимі прискорення зменшується у 2...4 рази, а також знижується шум на 8...10 дБ.

До синтезованих та гідролізних палив відносяться водень, ацетилен, азотовмісні палива.

Найбільш цікавим щодо використання в транспортних системах міст можна вважати водень. Його отримують при переробці природного газу і нафти, шляхом

електролізу води, а також шляхом газифікації вугілля під тиском. На сьогодні найбільш перспективним способом зберігання водню на автомобілі є спосіб зберігання під високим тиском (рис. 3.1).

На даний час усі відомі способи отримання так і зберігання водню вже не можна вважати проблемними і занадто дорогими.

Перевагою водневого палива є як його нетоксичність, так і нетоксичність продуктів згорання, крім оксидів азоту та в незначних кількостях мають місце CO та C_nH_m , але вони є продуктами згорання масла з системи змащування двигуна, що потрапляє в камеру згорання. Оскільки згорання відбувається при високих коефіцієнтах надлишку повітря, має місце зниження температури в камері згорання і суттєво знижується вміст NO_x у відпрацьованих газах двигуна.





Рисунок 3.1 – Викладачі Державного університету «Житомирська політехніка» вивчають досвід виготовлення та використання автомобілів, що працюють на водневому паливі (Ковентрі, Велика Британія)

До недоліків водневого палива відносять енергоємність процесу його отримання. Але це може бути виправдано зменшенням забруднення повітря двигуном. Інші недоліки (зменшення потужності двигуна у порівнянні з бензином, «жестка» робота двигуна тощо) можуть бути усунені конструктивно. На сьогодні використання водню в якості палива може бути ефективним тільки в двигунах мікролітражних автомобілів.

До палив з відновлюваних ресурсів відносяться спиртові палива (метанол та етанол) та рослинні олії.

Метанол (CH_3OH) отримують переробкою вугілля, природного газу, різних відходів тощо. Незважаючи на переваги цього палива, його застосування в пасажирських транспортних системах проблематично внаслідок його більшої шкідливості для оточення, навколишнього середовища та агресивності щодо багатьох конструкційних матеріалів.

Етанол ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) отримують з рослинної сировини. Для автомобільних двигунів використовують або суміш етанолу з бензином, або лише етанол. Властивості етанолу близькі до властивостей метанолу. Проте покращуються пускові властивості двигуна та зменшуються викиди CO . Відомо, що додавання 20 % (за об'ємом) етанолу до бензину зменшує вміст CO у відпрацьованих газах бензинового двигуна майже в 2,6 рази [1].

Переваги та недоліки роботи автомобільних двигунів на етанолі схожі як при роботі на метанолі. Використання етанолу дозволяє також зменшити викиди сажі, сполук сірки, високомолекулярних вуглеводнів тощо, але при цьому

спостерігається підвищений вміст альдегідів (ацетальдегіду CH_3CHO та формальдегіду HCHO) у відпрацьованих газах.

Використання етанолу в дизелях практично не дає відчутних екологічних переваг. Етанол від стискання не самоzapalюється. Для вирішення цієї проблеми у двигунах створюють подвійну паливну систему: для етанолу та для дизпалива. При цьому дизельне паливо впорскують в циліндри поряд з етанолом в якості запальної дози палива. Токсичність відпрацьованих газів при використанні етанолу практично не змінюється.

Теоретично будь-яку рослинну олію можна використовувати в якості палива. Найбільше розповсюдження отримала ріпакова олія, оскільки саме вона найменш за багатьох олій підвищує витрату палива та при певних концентраціях в суміші з дизельним паливом дає зменшення димності (непрозорості) відпрацьованих газів [2–3].

При роботі дизельного двигуна на ріпаковому метилефірі, порівняно з роботою на дизельному паливі, збільшується концентрація NO_x у відпрацьованих газах, але зменшуються викиди сполук сірки.

Додавання до традиційних видів палива різних домішок дозволяє знизити токсичні викиди двигуном автомобіля без внесення суттєвих змін в конструкцію двигуна. В якості домішок використовують водень, спирти, воду.

Водень можна додавати як до бензинів, так і до дизельного палива. При цьому додавання 20 % водню (за масою) до бензину знижує викиди CO приблизно у 4 рази, NO_x - у 8 разів, C_nH_m майже в 2 рази. Додавання 10 % водню до дизельного палива дозволяє суттєво скоротити його витрату, що призводить до зменшення масових викидів токсичних компонентів з відпрацьованими газами.

До традиційних моторних палив можна додавати етанол або метанол. Недоліки останнього не дозволяють використовувати його в пасажирських транспортних системах. Без суттєвих змін в конструкції двигуна вважається оптимальною домішка до 10...15 % (за об'ємом) етанолу до бензину.

Багато авторів стверджує, що основною причиною, що стримує використання етанол-бензинових сумішей в автомобільних двигунах, є розшарування сумішей. Причиною називають попадання води в суміш, яка розшаровується внаслідок різної густини води та спирту особливо за високих температур.

Розшарування етанол-бензинової суміші відбувається також і за відсутністю води. Причиною тому є те, що молекула етилового спирту полярна, тобто має різний заряд на кінцях в просторі. Ці молекули взаємодіють між собою як

«мікробатарейки», які з'єднуються між собою різнополярними сторонами і самостійно утворюють великі за об'ємом просторові структури [1].

Для зменшення процесів розшарування до етанол-бензину додають різні стабілізуючі домішки (n-бутанол, ізопропанол, гексанол тощо).

Відомі технічні засоби контролю однорідності етанол-бензинових сумішей, принцип дії яких побудований на властивості етанолу проводити електричний струм [4].

Воду додають в циліндри двигуна, розпилюючи потоком повітря у впускному трубопроводі. Додавання води у циліндри можливе також у вигляді емульсії. Цей процес має як позитивні, так і негативні сторони.

До переваг відносяться: зниження температури в камері згорання (відповідно, зниження викидів оксидів азоту NO_x); покращення розпилювання палива в циліндрі (зменшення викидів CO); підвищення детонаційної стійкості дозволяє збільшити ступінь стиску двигуна або використати бензини з нижчим октановим числом.

До недоліків додавання води відносяться: зменшення ресурсу двигуна; збільшення викидів C_nH_m (вода негативно впливає на повноту згорання вуглеводнів).

Таким чином використання альтернативних палив для двигунів внутрішнього згорання дозволяє покращити безпеку міської логістики та стабільність пасажирської транспортної системи міст.

Забруднення транспортними засобами ґрунтових та поверхневих вод.

В процесі експлуатації рухомого складу в транспортній системі міст утворюється велика кількість різноманітних шкідливих речовин. Найбільш небезпечними з них є:

- канцерогенний пил від зношування гумових шин, гальмівних прокладок,
- пил від асфальтобетонних покриттів;
- нафтопродукти;
- речовини проти ожеледиці.

Ці шкідливі речовини змиваються опадами або засобами миття вулиць з проїзних частин, тротуарів, мостів, шляхопроводів, естакад тощо, забруднюючи ґрунт, водостоки, водойми.

У зв'язку з небезпекою забруднення навколишнього середовища вищезазначеними шкідливими речовинами, що змиваються примусово, дощовими

водами та внаслідок танення снігів, поверхневі стічні води повинні бути очищені. Для очищення застосовують два основних методи: відстоювання та фільтрування.

Метод відстоювання є найбільш простим, не вимагає великих витрат на будівництво. Але, метод фільтрування є більш продуктивним та якісним, оскільки стічні води пропускаються через середовище, що затримує (фільтрує) бруд. Таким середовищем (фільтром) може бути кварцовий пісок, дерев'яні стружки, кокс, керамзит, металургійні шлаки, відходи синтетичних нетканих матеріалів (синтепон, полівінілхлорид тощо). В процесі фільтрації додатково застосовують фізико-хімічні та електрохімічні методи, які здатні забезпечити очищення від нафтопродуктів.

При фізико-хімічних методах очищення у відстійник додають коагулянти (сірчаноокислий алюміній, хлорне залізо тощо), які утворюють колоїдні речовини, що захоплюють емульговані нафтопродукти і випадають у осад. Пропускання електричного струму через стічні води сприяє коагуляції колоїдних забруднень, які за допомогою дрібнодисперсних газових бульбашок піднімають на поверхню води та видаляють.

До фізико-хімічних також відноситься метод флотації. Справа в тому, що нафтопродукти мають властивість осаджуватися на поверхні бульбашок повітря, яке подають в стічні води. Бульбашки з нафтопродуктами піднімаються на поверхню та утворюють піну, яка механічно видаляється.

Для більш повного очищення застосовуються біологічні фільтри, в яких руйнування нафтопродуктів здійснюється мікроорганізмами. Зрозуміло, що названі методи можуть бути комбінованими, що сприяє ще кращому очищенню стічних вод. Саме комбіновані методи можуть бути рекомендовано для очищення від нафтопродуктів стічних вод на підприємствах технічного обслуговування автомобілів. Ефективним також є очищення стічних вод, що утворюються в процесі миття автомобілів, безнапірними гідроциклонами (циліндроконічними апаратами для розділення в водному середовищі у відцентровому полі швидкостей речовин, що відрізняються масою) з застосуванням різних фільтрів.

Забруднення ґрунту транспортними засобами.

За характером розподілу забруднювачів ґрунту поблизу транспортних шляхів можна виділити:

- забруднювачі розподілені у верхньому шарі ґрунту або на його поверхні;
- з часом, під дією інфільтрації води забруднюючі речовини проникають на значну глибину у ґрунт. Глибина проникнення залежить від розчинності

забруднюючих речовин у воді, кількості та інтенсивності атмосферних опадів, проникності і складу ґрунту.

Вказані забруднення навколишнього середовища, особливо ґрунту, можуть статися випадково в результаті, наприклад, дорожньо-транспортних пригод. В таких випадках навколишнє середовище суттєво забруднюється паливно-мастильними матеріалами, акумуляторною кислотою тощо, зруйнованими елементами кузова автомобіля.

А забруднюючі речовини, що потрапляють в ґрунт, можуть загрожувати забрудненням підземних вод, особливо неглибокого залягання. Тому, при проектуванні транспортних шляхів в місцях таких підземних вод необхідно вживати заходів щодо запобігання потраплянню неочищених вод на пришляхову територію та виключити просочування шкідливих речовин у водоносні горизонти.

Видалення та очищення забруднених стічних вод з доріг є завданням служб їх обслуговування. Такі служби повинні слідкувати за влаштуванням та станом відкосів, водовідвідних каналів тощо для виключення просочування забруднених вод у водоносні горизонти.

Попадання поверхневих стічних вод в місцях перетину транспортними шляхами відкритих водойм неприпустиме. Для цього при проектуванні мостів та естакад необхідно передбачати ізольоване відведення води. Вода по закритих трубопроводах або по системах відкритого відокремленого водовідводу повинна подаватися в герметичні водозбиральні басейни з подальшим очищенням.

Пришляхові басейни для збору забруднених поверхневих вод мають бути герметичними спорудами, що складаються з резервуарів накопичувачів і масловловлювачів. Забруднена вода має декілька ступенів очищення (уловлення великих предметів, відстоювання, видалення нафтопродуктів, нерозчинних сполук вуглеводнів і важких металів тощо). У міських та приміських транспортних системах відведення забрудненої води може здійснюватися в міську каналізацію, якщо вона має відповідні очисні споруди.

Забруднення навколишнього середовища засобами проти ожеледиці та гербіцидами.

Існує багато речовин проти утворення льоду на поверхні проїзної частини доріг. Найчастіше для цього використовують хлористі сполуки, найбільш доступною з яких є поварена сіль.

Сіль протягом зими та навесні розсипається на поверхні доріг, відкидається снігоприбиральними засобами та з під коліс транспортних засобів, утворює з водою розчини та стікає з дороги по водостоках, а коли вони не працюють, наприклад, внаслідок замерзання, – зосереджується на ділянках доріг. Навесні сіль відкладається на елементах дороги, просочується в ґрунт або стікає в водойми та водойми.

З підвищенням температури повітря зростає активність хімічних реакцій солей з іншими речовинами, що утворюються в процесі експлуатації наземних транспортних шляхів (продукти згорання палива, продукти корозії, зношування тощо). Це призводить до утворення різних розчинів та токсичних сполук і суспензій. Глибина їх проникнення в ґрунт залежить від багатьох факторів: розчинності у воді, здатності вступати в хімічні реакції дренажні та самоочисні властивості самих ґрунтів. У верхніх шарах ґрунту (до 15 см) відкладень солі в 1,5...2,5 рази більше, ніж у нижніх. Особливо багато солі накопичується в місцях її активного використання: мости, шляхопроводи, естакади, підйоми та спуски, зупинки громадського транспорту, пішохідні переходи тощо.

Порівняно з іншими речовинами хлориди можуть проникати глибоко в ґрунт, досягаючи ґрунтових вод. Під впливом солі погіршуються фізико-хімічні властивості ґрунтів. Глинисті ґрунти втрачають стійкість, розмиваються водою, в результаті чого розвивається ерозія. З ґрунтів вимиваються мінеральні речовини, підвищується показник рН, що робить ґрунт більш лужним. Іони кальцію заміщуються іонами натрію, що негативно впливає на родючість ґрунтів.

Іони натрію мають здатність до накопичення в ґрунті з часом. Тому концентрація хлоридів у ґрунті змінюється залежно від тривалості та інтенсивності використання солі.

Шкідливий вплив реагентів проти утворення льоду на флору проявляється не тільки при контакті з рослинами в повітрі, а також і через кореневу систему. Контакт з солями та їх розчинами призводить до руйнування рослин, особливо їх листя, кори тощо. Іони натрію, що накопичуються в ґрунті, перешкоджають засвоєнню кореневою системою рослин поживних речовин і води. Концентрація в листях аніонів хлору погіршує процес фотосинтезу. Особливо чутливі до дії солей хвойні рослини. Під дією солі у них опадає хвоя.

Сіль, що використовується проти утворення льоду на дорогах, негативно впливає на фауну. Внаслідок отруєння солями гинуть ссавці та птиця. Найбільш уразливими є зайці, перепели, голуби, а при попаданні соляних розчинів у водойми – риби, дафнії.

При експлуатації автомобільних доріг одним з найкращих варіантів є відмова від солі, як засобу боротьби з утворенням льоду на проїзній частині, та використання фрикційних матеріалів (піску). Однак така заміна солей піском та (або) дрібним щебенем призводить до забруднення ними смуг відведення, порушення роботи труб та споруд водовідведення. В якості проміжного варіанту можна запропонувати використання суміші солі з піском або інших хімічних речовин (сульфати, фосфати і нітрати кальцію, натрію і магнію, спирти тощо). До недоліків їх використання можна віднести меншу ефективність (особливо при температурах менших за $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$), вищу вартість, руйнівну дію на цементобетонні і асфальтобетонні покриття, залізобетонні конструкції. Сіль необхідно додавати в пісок або в інші фрикційні матеріали для того, щоб вони не змерзалися при зберіганні, не втратили сипучості для гарного завантаження та рівномірного розсіпання на дорогах.

При цьому у пісок можна додавати різні тверді солі (кухонну, сіль сильвінітових відвалів, хлористий кальцій, бішофіт тощо).

Одним з найбільш поширених способів нанесення фрикційних матеріалів на проїзну частину доріг є їх розсіпання. Однак, при цьому частинки фрикційного матеріалу мають мале зчеплення з льодовою поверхнею дороги. Вплив коліс автотранспорту, вітер, повітряні потоки, що виникають при русі транспорту, призводять до переміщення фрикційного матеріалу по проїзній частині праворуч. Закріплення частинок фрикційного матеріалу на поверхні дороги досягається попереднім їх нагріванням.

Для видалення рослинності на узбіччях, відкосах, в кюветах, на смугах відводу використовують механічні засоби та (або) гербіциди. Застосування останніх дозволяє відмовитися від трудомістких агротехнічних прийомів боротьби з небажаною рослинністю. Але, гербіциди є сильнодіючими отрутами, що вбивають разом з бур'янами всі інші рослини, в тому числі і корисні.

Гербіциди акумулюються в ґрунті, рослинах, надходять до організмів тварин, які харчуються цими рослинами, і далі можуть потрапляти в організм людини. Особливо небезпечні гербіциди для дрібних тварин та птахів, що мешкають в придорожніх смугах. Інтенсивне використання гербіцидів призводить до виснаження верхнього родючого шару ґрунту. В результаті змивання дощовими водами гербіциди потрапляють у водойми, отруюючи воду і водні екосистеми.

Забруднення навколишнього середовища при будівництві шляхопроводів та під час виконання земляних робіт:

Серед найважливіших заходів під час проектування та будівництва об'єктів транспортної інфраструктури необхідно дотримуватися заходів з охорони навколишнього природного середовища під час виконання земляних робіт, роботи з будівельними матеріалами, з запобігання ерозії на шляхопроводах, специфічні заходи з охорони ландшафту, флори і фауни тощо.

Будівництво дороги та її елементів починають з розчищення смуги відводу. Древа вирубують, пні та чагарники викорчовують, переміщують в сторону, зсувають у купи і засипають землею. Але з часом в цих місцях починається процес гниття деревини, розмножуються різні комахи, хробаки, заводяться миші тощо. Листя, що осипається в процесі вирубки та корчування, не прибирають, а залишають гнити. В результаті, у процесі гниття комахи та хробаки поширюються на прилеглих територіях і поступово заражають зелені насадження, що ростуть поруч з дорогою.

Одним з сучасних методів видалення зелених насаджень зі смуги відводу є повна переробка стовбурів, гілок, кори, листя на лісопереробних заводах, наприклад, з виготовленням з них дерев'яних пелет, продаж зрубаного лісу населенню в якості палива або для переробки на ділову деревину.

На всій території, що займається під дорогу і споруди транспортного комплексу, знімається родючий шар ґрунту. Операція виконується за допомогою бульдозерів, які зрізають поверхневий шар ґрунту і переміщують його на деяку відстань, при цьому ґрунт зазнає механічних порушень і переходить у розряд порушених земель, не придатних для сільськогосподарського та лісового використання без попереднього відновлення родючості.

Механічні порушення ґрунтового шару призводять до незворотних руйнувань ґрунтово-рослинних екосистем, знищенню традиційної рослинності, зміни морфологічних і біохімічних властивостей ґрунту, надмірного ущільнення його шарів.

Крім механічних порушень, ґрунтовий шар піддається інтенсивному впливу природних факторів: вітер, опади, сонячна радіація, біологічні чинники. Вони викликають органічне руйнування ґрунту. Рослинність на таких ґрунтах відновлюється досить швидко, але органіка через повільність ґрунтоутворюючих процесів, відновлюється тривалий час. Тому, для зниження вказаних негативних наслідків, земляні роботи рекомендується проводити таким чином, щоб водночас не знімати родючий шар відразу на великій площі.

Обов'язково треба брати до уваги час проведення будівельних робіт. Складові екосистем в різну пору року перебувають у різному стані. Тому їх реакція на антропогенний вплив буде різною. В екосистемах з важкими глинистими ґрунтами земляні роботи можна проводити в будь-який час. В екосистемах з легким субстратом, на гідроморфних і напівгідроморфних ґрунтах небажано проводити вказані роботи навесні. На солончаках небажано провести земляні роботи у вологу пору року.

Механічні порушення під час такого будівництва, хоча і носять локальний характер, але супроводжуються охопленням великих площ з порушеннями ґрунтів і рослинності на прилеглих територіях. Наприклад, при будівництві дороги, на кожні 100 км траси порушується близько 200 га земель. При цьому, будівельною технікою повністю знищується рослинність, руйнуються і ущільнюються верхні шари ґрунту.

Ґрунти мають певну стійкість до антропогенних впливів і рівень цієї стійкості залежить, перш за все, від їх властивостей (малостійкі, середньостійкі і дуже стійкі).

Кар'єри, де видобуваються місцеві будівельні матеріали, мають піддаватися рекультивації, а саме: мають плануватися відкоси, відкоси та дно кар'єру мають покриватися родючим ґрунтом, в деяких випадках в них влаштовуються водойми.

При проведенні земляних робіт спостерігається також забруднення ґрунту паливно-мастильними матеріалами на шляхах транспортування, завантаження і вивантаження ґрунту, в місцях стоянок землерійних, транспортних та інших машин. Для локалізації таких забруднень рекомендується обваловувати ґрунтом майданчики для стоянки машин і механізмів, вживати інших заходів для недопущення потрапляння паливо-мастильних матеріалів у воду.

Забруднення навколишнього середовища під час роботи з будівельними матеріалами.

Забруднюючий вплив на навколишнє середовище асфальтобетонних заводів, обумовлений неповним згоранням палива (наприклад, мазуту), незадовільним очищенням відпрацьованих газів, в яких міститься значна кількість твердих частинок (в основному, мажі). При згоранні палива (мазуту, газу тощо) утворюються газові забруднення повітря оксидами вуглецю, азоту, сірки тощо). Дієвими способами зменшення таких викидів є дотримання режимів горіння та встановлення сучасних приладів для очищення цих газів, включаючи вологе очищення.

Значне забруднення повітря спостерігається на підприємствах з дроблення щебеню. Зменшення запиленості досягається періодичним зволоженням щебеню.

Додаткове забруднення територій асфальтобетонних заводів відбувається наявністю відкритих сховищ бітуму. Відбувається забруднення землі, поверхневих вод при його розвантаженні, транспортуванні по території заводу від сховищ.

Асфальтобетонні суміші містять канцерогенні речовини, наприклад, бенз(а)пірен ($C_{20}H_{12}$), в залежності від складу суміші його вміст може досягати 1356...5500 мг/кг. При укладанні асфальтобетонної суміші в приміщенні за відсутності вентиляції вміст бенз(а)пірену в повітрі може значно перевищувати гранично допустимі концентрації. При укладанні асфальтобетонних сумішей виділяються інші токсичні вуглеводні. Сучасний спосіб знизити при цьому кількість шкідливих викидів полягає в заміні бітуму бітумною емульсією.

Для зміцнення ґрунтів використовують синтетичні смоли: епоксидні, фенолальдегідні тощо. Але при цьому складові компоненти часто стікають з полотна на прилеглі ділянки, забруднюючи ґрунт, поверхневі і ґрунтові води, випаровуються в атмосферу.

В процесі будівництва повітря забруднюється відпрацьованими газами будівельних та транспортних машин, дизельні двигуни яких подовгу працюють на режимі холостого ходу. В режимах великих навантажень (робочий режим) згорання палива супроводжується видаленням великої кількості сажі.

Ерозія ґрунтів на шляхопроводах.

Основними причинами ерозії ґрунтів під час створення та експлуатації транспортної системи є:

- зміна рельєфу при будівництві (підрізування схилів, розробка виїмок, планування місцевості тощо);
- знищення рослинності (вирубубання лісу, викорчовування пнів, зняття ґрунтового-рослинного шару або його пошкодження будівельними машинами);
- неякісна рекультивація порушених земель;
- зміна поверхневого стоку (порушення дощового і талого стоку з природних водозбірних басейнів);
- вплив супутніх процесів (вивітрювання, зсуви, обвали, солеутворення тощо);
- відсутність або недостатнє зміцнення відкосів земляного насипу.

Особливо небезпечними є водна та вітрова ерозія відкосів насипу чи виїмки. У процесі будівництва відкоси, як правило, залишаються неукріпленими, їх

укріплення проводять у період оздоблювальних робіт. В результаті тривалий період ґрунт вимиваються водою з насипів, утворюючи вимоїни, руйнуючи дно і стінки русел водовідведення. Частина ґрунту виноситься у водойми і водотоки, забруднюючи їх.

В процесі будівництва потрібно вживати заходи щодо закріплення розташованих поруч із смугою відведення ярів. У верхній частині яру важливим є перешкоджання потраплянню в нього води. З цією метою необхідно влаштовувати захисні канали, насипи, саджати дерева, кущі, траву. В транзитній частині ярів потрібно влаштовувати перешкоди для протікання води, здійснювати планування схилів, висаджувати на схилах та на дні траву і кущі. Аналогічні заходи потрібно вживати і на виході з ярів.

Одним з найважливіших заходів щодо запобігання водній ерозії відвідних русел штучних споруд водовідведення є їх зміцнення. Для цього існує багато методів, але на практиці укріплення русел виконують недостатньо.

Транспортна ерозія в багатьох випадках є наслідком:

- дефектів водовідвідних споруд, неправильного їх зміцнення або його відсутності, особливо при великих ухилах місцевості;
- скидання води з водовідвідних споруд в яри без належного зміцнення русел;
- відсутність спеціальних гасителів енергії водних потоків.

Одним з найважливіших завдань для запобігання ерозії ґрунтів є укріплення русел водовідвідних споруд, влаштування сполучних споруд, перепадів і швидкотоків з водобійними стінками і колодязями.

Інші заходи попередження активному розвитку ерозії ґрунтів при будівництві шляхопроводів поділяють на групи:

- ліквідація площинної і струминної ерозії;
- боротьба з яроутворенням.

Боротьба з площинною і струминною ерозією полягає в біологічному захисті відкосів, який здійснюється:

- за допомогою природного дерну;
- штучним одернуванням;
- травосіянням.

Недоліком першого способу є те, що захищаючи від ерозії відкоси чи виїмки, небезпеці їм виникнення піддаються території, з яких дерен зрізається. Більш доцільним є захист від ерозії шляхом посіву багаторічних трав.

Для захисту відкосів від ерозії на початку будівництва шляхопроводу можуть бути використані хімічні речовини різної дії:

- матеріали, що мають в'язучі властивості (бітумні і латексні емульсії, бітумно-латексні суміші тощо), які, потрапляючи на поверхню відкосів, утворюють водонепроникну плівку, зберігаючи у верхньому шарі ґрунту достатню кількість вологи для проростання насіння;

- полімери, які утворюють у ґрунті на глибині до 30 см водостійкі шари, збільшуючи водопоглинання ґрунтів і зменшуючи стікання води (поліакриламід, поліакрил натрію, поліетиленоксид тощо).

Утворення таких шарів також чинить опір впливу дощових крапель, в результаті чого змивання з відкосів знижується в 10...20 разів. Тривалість дії цих заходів складає 1,5...2 роки, за цей час встигають розвинутися кореневі системи рослин і для закріплення ними поверхневого шару відкосів.

До штучних дернових покриттів належать:

- торфодернові килими, що готуються на торфопереробних підприємствах шляхом нанесення торфу на дротяну сітку та внесення у торф насіння і добрив. Такі килими перевозяться в рулонах до місця укладання і закріплюються на відкосах. З часом вони з'єднуються з корінням рослин і утворюють монолітний дерновий шар;

- синтетичні текстильні матеріали з введеними в них поживними речовинами та насіннями рослин.

Високі ґрунтові відкоси додатково закріплюють висаджуванням дерев, що мають розвинену кореневу систему, наприклад вербою.

Заходи боротьби з утворенням ярів поділяються на гідротехнічні і агролісомеліоративні. Гідротехнічні заходи зменшують або повністю припиняють вимивання вершин ярів, відводять воду з водозбірних площ, що примикають до ярів, на задерновані території, гасять надлишок енергії водних потоків в ярах тощо. Таким чином протиерозійні гідротехнічні споруди логічно влаштовувати на водозбірних площах біля вершин ярів.

На водозбірних площах влаштовують водонапрямні та водозатримувальні споруди: вали, розсосереджувачі, тераси тощо.

Руслові та донні споруди, призначені для запобігання розвитку ярів і затримання продуктів розмиву, бувають капітального типу (стінки з кам'яної кладки або залізобетонні) і полегшеного (фашинні, плітневі, дерев'яні та земляні загати, дровові сітки тощо). Вони ефективні для закріплення свіжих неглибоких (2...3 м) ярів.

Барражні стінки застосовуються при високих швидкостях водних потоків. Полегшені споруди влаштовують, відповідно, при невеликих потоках.

Хмизові, фашинні та плітневі загати закріплюються кілками, в які додають живі вербові або тополіні прутья. Плітневі загати (одне- і дворядні) найкраще робити повністю з верби кілками з обплетенням прутьями. Проміжок між рядами дворядних загат заповнюють ґрунтом.

Дерев'яні і земляні загати застосовуються на ярах, де ускладнене приживання рослин. Дерев'яні загати (висота близько 1 м) влаштовують з дерев'яних палів (діаметром 18...20 см) на які кріплять дошки. Біля основи земляних загат укладають камінь або хмиз. Відкоси закріплюють дерном, деревами, кущами.

Захист ландшафту, флори та фауни.

Автомобільні дороги зі всіма їх елементами, залізничні колії тощо з екологічної точки зору є яскраво вираженими смугами відчуження, оскільки вони розділяють місця проживання біогеоценозів та порушують природні шляхи міграції тварин. В результаті будівництва доріг по обидві сторони формуються специфічні біогеоценози меншого розміру, залежно від виду рослинності (фітоценозу), рельєфу місцевості тощо, а їх розміри можуть сягати завширшки кількох кілометрів.

Наприклад, при перетині лісового масиву утворюються нові галявини, що веде до збільшення освітленості землі, зміни гідрології, а це в кінцевому результаті до зміни видового складу рослинності вздовж дороги, зниження продуктивності лісу.

Під впливом транспорту в пришляховій зоні може відбуватися видова зміна тварин, можуть мати місце випадки генетичних мутацій у комах та у дрібних гризунів.

Якщо вздовж шляхопроводів розташовані пасіки, бджоли гинуть внаслідок зіткнення з транспортом. Також птахі, що гніздяться в пришляхових посадках, зазнають шкоди. А використання бджолами частинок органічних речовин з дорожніх покриттів для виробництва прополісу призводить до того, що він стає токсичним.

Щоб виключити отруєння продуктів бджільництва частинками органічних в'язучих, в місцях розташування пасік доцільно будувати дороги з цементобетонним покриттям. На ділянках, де можлива поява на проїзній частині тварин або поблизу пасік, необхідно встановлювати попереджувальні дорожні знаки та вводити обмеження швидкості руху транспорту.

Коли шляхопроводи перетинають шляхи міграції тварин (земноводних, змії, ссавців тощо), вони можуть ставати жертвами зіткнення з транспортними засобами. Для ізоляції шляхопроводів ефективним є встановлення огорожень (щити, сітки

тощо), однак вони заважають міграції тварин. Відомо також застосування пристроїв відлякування тварин з доріг, наприклад, рефлектори, які відбивають світлові промені в поперечному від доріг напрямку. Досвід показує, що влаштування спеціальних переходів для тварин під дорогою у вигляді прямокутних труб, або шляхопроводів через дороги та залізничні колії успіху не мають. Тому важливим та найбільш ефективним засобом захисту тварин при міграціях є правильне трасування транспортних шляхів задля уникнення їх перетину з шляхами міграції.

Небезпечним екологічним наслідком будівництва доріг є зміна виду природного ландшафту. Щоб не порушувати екологічної рівноваги, необхідно забезпечити максимальне збереження існуючого ландшафту.

Наприклад, при проектуванні автомагістралей доцільно влаштовувати розділювальну смугу змінної ширини при роздільному трасуванні проїзних частин різних напрямків руху. Це дозволяє зберігати самостійні форми ландшафту (гаї, сади, водойми, пам'ятки природи тощо). Дорога при цьому краще вписується в рельєф місцевості, скорочуються обсяги земляних робіт, підвищується безпека руху тощо. З цією ж метою можна запропонувати ступінчасте розташування проїзних частин доріг чи залізничних колій (для збереження оригінальних скельних виступів, пам'яток природи тощо), доцільно передбачати невеликі тунелі замість глибоких виїмок.

Будівництво шляхопроводів пов'язано з порушенням гідрологічного режиму місцевості, зміною режиму стоку дощових вод. Акумуляція води перед шляховими насипами призводить до затоплення і заболочування прилеглих земель. Паводкові води, що заповнюють навесні заплави, залишаються на них, а це, у разі наявності там лісу, може призвести до його загибелі, оскільки дерева не витримують тривалого підтоплення. Для запобігання цьому доцільно в насипах влаштовувати водопропускні труби. При будівництві мостових переходів треба досягати максимального збереження існуючого режиму річкових стоків.

Наслідки зміни стоку активно проявляються при будівництві шляхопроводів в заболоченій місцевості. У цьому випадку шляховий насип перериває природний стік і з верхньої сторони відбувається перезволоження, а з нижньої сторони - осушення місцевості, що змінює біогеоценоз, який склався раніше.

Найбільші гідрологічні зміни відбуваються при перетині насипом шляхів джерел водного живлення боліт. В таких випадках необхідно передбачати водопропускні споруди, які запобігають підпору води перед насипом.

На гідрологію місцевості суттєво впливають глибокі виїмки, які можуть діяти як потужний дренаж. В результаті може утворюватися зона пониженого рівня

грунтових вод, яка змінює рослинний покрив і сприяє ерозії ґрунтів. Тому, при проектуванні доріг доцільно уникати влаштування глибоких виїмок.

Забруднення навколишнього середовища транспортним шумом.

На рівень транспортного шуму впливає велика кількість факторів:

- інтенсивність і швидкість транспортного потоку;
- склад транспортного потоку і типи двигунів транспортних засобів;
- планувальні рішення територій та їх озеленення;

Найбільший рівень шуму спостерігається на магістральних вулицях міст. При збільшенні швидкості транспортних засобів відбувається зростання шуму двигунів, шуму кочення коліс, подолання опору повітря. Вантажний та технологічний транспорт має більшу шумову дію в порівнянні з пасажирським. Тому зростання кількості такого транспорт в потоці призводить до загального зростання рівня шуму. Найменший рівень шуму спостерігається від двигунів електротранспорту. В загальному рівні шуму електротранспорту окреме місце займають трамваї внаслідок взаємодії коліс з рейками, особливо при зміні напрямку руху. Далі за збільшенням рівня шуму можна відзначити бензинові двигуни, дизелі, газотурбінні двигуни.

Поздовжній та поперечний профілі транспортних шляхів, наявність транспортних розв'язок на різних рівнях впливають на режими роботи двигунів, що в свою чергу створює різний шум. Висота, щільність забудов населених пунктів та їх сумісне розташування визначають дальність поширення шуму. Акустичний дискомфорт уздовж магістралей в денні години може відчуватися на відстані до 1 км залежно від властивостей прилеглої території. Вздовж магістралей з обох боків необхідно на етапі проектування передбачати санітарно-захисні зони, в яких висаджують дерева.

Нервова система людини на будь-який шум реагує негативно, особливо важко переносити раптові звуки високої частоти. Звикання людини до шуму не відбувається. Вчені стверджують, що фізіологічна та біохімічна адаптація людини до шуму неможлива.

Одиниця вимірювання рівня гучності, підсилення потужності сигналу або власна потужність сигналу, значення якої дорівнює одній десятій бела є децибел (дБ). Підсилення в децибелах вимірюється у логарифмічному масштабі. Величина, виражена в децибелах, чисельно дорівнює десятковому логарифму

відношення фізичної величини до однойменної фізичної величини, прийнятої за основу, помноженому на десять:

$$A_{dB} = 10 \lg \frac{A}{A_0}, \quad (3.1)$$

де A_{dB} – величина у децибелах;

A – виміряна фізична величина;

A_0 – величина, прийнята за основу.

Децибел – безрозмірна одиниця. Міжнародне позначення «децибел» – «dB» або «дБ» (неправильно: дб, Дб). Децибел не є офіційною одиницею в системі одиниць СІ, хоча за рішенням Генеральної конференції з мір і ваг, допускається його застосування без обмежень спільно із одиницями СІ, а Міжнародне бюро мір і ваги рекомендувало включити його до цієї системи.

Шум інтенсивністю понад 80 дБ є шкідливим для організму людини. Умови життя у сучасних великих містах створюють шум, що наближається до цього значення.

Працівники транспортних підприємств, які безпосередньо зайняті в процесах перевезення, ремонту та обслуговування рухомого складу, також працюють в умовах підвищеного шуму. Під цим впливом перебувають і пасажирів в транспорті.

Акустичним звуком називають звукові коливання з частотою 16 ÷ 20000 Гц. Коливання менших частот відносяться до інфразвуку, вищих – до ультразвуку. Ультразвук частотами вище 10^9 Гц називають гіперзвуком.

Органи слуху людини сприймають звукові коливання різних частот залежно від їх інтенсивності.

Середні значення інтенсивності шуму від рухомого складу різних видів транспорту, дБ:

- легковий автомобіль 70...80;
- автобус 80...85;
- вантажний автомобіль 80...90;
- поїзд метрополітену 90...95;
- залізничний потяг (на відстані 7 м від колії) 95...100;
- залізничний потяг (біля коліс) 125...130;
- реактивний літак на злеті 130...160.

Всередині транспортних засобів рівні шуму інший, дБ:

- в салоні автомобіля до 60;
- в пасажирському вагоні поїзда до 68;

При наборі швидкості автомобілем, відкриванні та закриванні дверей автобуса спостерігається зростання шуму до 100 дБ.

На ремонтних підприємствах транспорту багато виробництв характеризуються високими рівнями шуму. В ковальських цехах основними джерелами ударного шуму з рівнем звукового тиску до 130 дБ є молоти й механічні преси. В механічних цехах робота металорізального обладнання створює шум до 85...114 дБ, в місцях проведення клепальних робіт до 115 дБ, шліфувальних та свердлильних робіт до 118 дБ.

Вплив шуму на організм людини.

Розвиток сучасних міст не можливий без розвитку транспорту. Це призводить до їх шумового забруднення. Шкідливий шумовий вплив транспорту посилюється одночасною дією вібрації, загазованості й інших видів впливу.

Кожна людина сприймає шум по-різному. Це залежить від віку (максимальна чутливість слуху людини проявляється у віці 14–19 років), стану здоров'я, темпераменту, впливу природніх факторів.

Шум є одним із найсильніших подразнювачів, з усього діапазону інтенсивностей виділяють два характерних значення:

- поріг чутності (найменша сила звуку, що сприймається органами слуху людини як звук);
- больовий поріг (найменша сила звуку, за якої у людини виникає неприємне відчуття і далі може переходити в біль).

Вплив шуму на живі організми може супроводжуватися:

- зниженням споживання кисню тканинами головного мозку;
- дистрофічними та біохімічними змінами в мозку та внутрішніх органах;
- судинними розладами.

На слуховий аналізатор людини шум впливає специфічним чином. Реакцією на шум є фізіологічне явище пристосування чутливості слухового аналізатора до різної сили звуку (адаптація), яка відіграє захисну роль. Під час дії шумів слухова чутливість знижується, внаслідок чого менше звукової енергії потрапляє у внутрішнє вухо (до слухового аналізатора). При тривалому впливі інтенсивних звуків настає слухова втома (страждає центральна нервова система), яка проявляється як тимчасове погіршення слуху.

Тривалий шум навіть невеликих рівнів може вплинути на центральну нервову систему зі зміною активності мозкових клітин, порушенням режиму їх роботи

внаслідок поширення збудження із слухового аналізатора по всьому головному мозку. Це призводить до:

- порушення сну;
- підвищення втомлюваності та роздратованості;
- зміни психіки, що проявляється в пригніченому настрої, неврівноваженості.

Стійка втрата слуху може виникати внаслідок тривалого (5–8 років) впливу шуму й недостатнього відпочинку для відновлення слуху. Глухота багато в чому обумовлена індивідуальними особливостями людини. Деякі люди втрачають слух навіть після короткого періоду дії шуму відносно помірної інтенсивності, у інших навіть сильний шум за тривалої дії не призводить до втрати слуху.

Спостерігаються також інші наслідки шумового впливу на організм: збудження центрів головного мозку, зміна функції залоз внутрішньої секреції і біоритмів, зміна пульсу і тиску, частоти дихання, зміна в крові, розширення зіниць тощо.

Шум сприяє розвитку гіпертонічної хвороби, виразки шлунку та дванадцятипалої кишки, подразненню вестибулярного апарату, при яких виникає запаморочення.

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВОЗ) шум впливає на психофізіологічний стан людини: діє як відволікаючий подразник, впливає на розумову діяльність, заважає процесам сприйняття інформації, її збирання та обробки.

За наявності шуму загальна захворюваність людини зростає. Збільшення рівня шуму на кожні 10 дБ тягне за собою збільшення захворюваності до 30 %. В умовах шуму (наприклад, у лікарні, розташованій поблизу аеропорту) одужання хворих відбувається повільніше. Відомі випадки, коли жінки, що працювали в період вагітності в шумних умовах, народжували дітей з порушенням слуху.

Найбільш чутливі до шуму діти та люди похилого віку. У школярів, які навчаються в умовах шуму вище ніж 45 дБ, спостерігаються зниження слухової чутливості, порушення дії вегетативної системи, підвищена стомлюваність та головний біль.

Суттєвий вплив на організм людини чинить інфразвук. Він, особливо за великої амплітуди, може входити в резонанс із коливаннями внутрішніх органів та відчуватися людиною у вигляді страху, болі тощо. Інфразвукові коливання передають інформацію про подразники до нервових центрів і викликають рефлекторні реакції інших органів та систем людини. Також механічна енергія інфразвуку перетворюється на теплову та енергію біохімічних і біоелектричних

процесів, викликаючи реакцію організму на подразник. Найбільш активними для живого організму є частоти в діапазоні 2...17 Гц внаслідок резонансних явищ внутрішніх органів.

Транспорт – активне джерело інфразвуку, ним зв'язана робота компресорних установок, гальмівних систем поїздів і вантажних автомобілів, тягових електродвигунів, дизелів, газових турбін тощо. В транспортних процесах інфразвук, як правило, супроводжують звуки акустичного діапазону, тому інфразвук людиною відчувається не завжди, але це не усуває його вплив.

За впливом на організм людини інтенсивність інфразвуку поділяють на зони:

- поріг безпеки (інтенсивність, яка є умовно безпечною для людини 90 дБ);
- поріг переносимості (інтенсивність, яка при тривалій дії на організм призводить до розвинення психофізіологічних відхилень, які носять стійкий характер 140...155 дБ);
- поріг потенційної небезпеки (інтенсивність, що може призводити до психофізіологічних відхилень, які важко лікуються і є загрозою для життя людини 155...180 дБ);
- поріг небезпеки смерті (інтенсивність, яка призводить до смерті людини навіть за короткочасної дії 180...190 дБ).

Акустичний діапазон включає шуми виробничі та побутові, безперервні та імпульсні. Значний шумовий вплив саме в цьому діапазоні створюють транспортні засоби. У великих містах основним є шум від автотранспорту, від руху залізничних потягів, авіаційний шум тощо. В акустичному діапазоні високочастотні шуми вважаються найбільш шкідливими. Транспортні засоби створюють переважно низькочастотний і середньочастотний спектри шуму. Наприклад, під час руху залізничного потягу найбільша інтенсивність шуму спостерігається в діапазоні 500...800 Гц.

Ультразвук також має шкідливий вплив на організм людини, але його дія проявляється рідше. Він використовується у виробничих процесах металообробки, отримання емульсій, сушіння, очищення, зварювання, дефектоскопії, навігації, зв'язку тощо, виникає під час роботи верстатів, реактивних та інших двигунів. Вплив на людину низькочастотного ультразвуку зі спектром частот, близьким до акустичного діапазону, характерне для виробничих цехів транспортного господарства. Тривалий вплив ультразвуку викликає у працівників слабкість, сонливість, зниження працездатності.

Гіперзвук для транспортних систем не характерний, тому в контексті даного матеріалу він не розглядається.

Звуковий удар, що виникає при польотах надзвукових літаків, може викликати у людей та тварин роздратування, що проявляється від слабкої психофізіологічної до захисно-оборонної реакції (переляк, здригання, пробудження від сну тощо). Звуковий удар може викликати зниження працездатності, особливо при виконанні

робіт, що потребують акуратності, напруженої уваги, точних рухів тощо. Деякі тварини також чутливі до звукового удару. Це скакові коні, олені, морські тварини, тому при роботі з ними людина повинна враховувати цей факт, щоб запобігти травмуванню, загибелі тощо.

Реакція людини на шум.

Сприйняття шуму людиною залежить від:

- стимулюючого фактору рівня шуму;
- людських факторів ставлення до шуму та досвіду щодо джерел шуму;
- ситуаційних факторів особливостей, що супроводжують експозицію шуму довкілля.

Крім того, сприйняття шуму може бути скориговано:

- значенням (змістом) звукової інформації;
- ступенем (мірою) порушення діяльності, що зараз відбувається;
- безпосередньою неприємністю звуків.

Шум призводить до посилення стресу, який має декілька прямих наслідків: розвиток негативних почуттів та вплив на здоров'я. Це має і зворотний зв'язок – підвищення рівня стресу. Стрес зумовлюють очевидні (явні) дії особи або її внутрішнє пристосування та повернення системи в збалансований нормальний стан.

Явні дії проявляються як звернення зі скаргою до місцевої влади з метою забезпечення сприяння діям щодо зменшення шуму в джерелах, покращенню ізоляції вікон, зміні життєдіяльності на околицях житлових забудов та найбільш рішучий варіант – виїзду із зашумленої зони.

Внутрішнє регулювання (пристосування до шуму) включає адаптацію, привикання або зміну особистого ставлення до явища, що веде до зменшення стресу. Наприклад, якщо особа зможе повірити в те, що авіація відіграє важливу роль з підтримки якості його особистого життя, можливо шум довкілля стане менш нестерпним.

Таким чином можна зробити наступні висновки:

- шум може впливати на результати життєдіяльності людини усередині і назовні приміщень.
- для порівняння рівнів зовнішнього та внутрішнього шумів необхідно враховувати звукоізоляцію будівель;
- забезпечення захисту від пошкодження слуху, порушення сну, перегляду та прослуховування теле- та радіопередач і музичних записів, спілкування з нормальними голосовими зусиллями та повна розбірливість мови, транспортний

шум, який не впливає на точність та ефективність розумової діяльності (читання або обчислення) тощо мають певні рівні обмеження шуму;

- роздратування, як інтегральна характеристика реакції населення на акустичне середовище, необхідно враховувати при визначенні нормативних значень шуму.

Поширеною характеристикою визначення роздратування є частка населення (у відсотках), що зазнає сильного роздратування від впливу шуму.

ВОЗ спільно з Організацією економічної співпраці і розвитку отримали власні оцінки стосовно експозиції шуму. Ними визначені наступні порогові значення шуму (в одиницях денного еквівалентного рівня звуку $L_{\text{Аекв}}$):

- при $L_{\text{Аекв}} = 55 \dots 60$ дБ шум починає викликати роздратування;

- при $L_{\text{Аекв}} = 60 \dots 65$ дБ роздратування суттєво посилюється;

- при рівнях $L_{\text{Аекв}}$ вище 65 дБ з'являються серйозні поведінкові симптоми, наприклад, у вигляді скарг, протестів, демонстрацій тощо.

З цієї причини ВОЗ було запропоновано директивні значення для рівня шуму довкілля величиною 55 дБ, що визначається протягом денного періоду доби.

Екологічні наслідки аварій на транспорті.

Транспортні системи та їх процеси відносять до екологічно небезпечних, оскільки вони призводять до біологічних, механічних і фізико-хімічних забруднень екосистем. Найбільша небезпека з'являється під час аварійних режимів їх експлуатації. Небезпека виникає внаслідок технічного стану рухомого складу і обладнання, порушення режимів експлуатації, (швидкість руху, пропускна та провізна здатність, перевантаження тощо), використання недосконалих технологій, ігнорування суб'єктивних причин учасників транспортного процесу.

За тривалістю негативної дії об'єктів транспорту на здоров'я населення і природне середовище розрізняють екологічну небезпеку:

- що присутня постійно;

- короткострокова.

Постійно присутня екологічна небезпека є наслідком функціонування транспортних систем. Вона проявляється у підвищеному рівні забруднення атмосферного повітря, водних об'єктів, ґрунту, рівні шуму тощо.

Короткострокова екологічна небезпека виникає в аварійних ситуаціях, за яких відбуваються швидко забруднення атмосфери, води, ґрунту, загибель флори та

живих організмів тощо. Така небезпека проявляється під час транспортування небезпечних вантажів.

Екологічна небезпека безпосередньо пов'язана з поняттям рівня екологічного ризику. Концепція екологічної безпеки ґрунтується на теорії екологічного ризику. Екологічну небезпеку можна зменшити, але не можна усунути. В зв'язку з цим виникає завдання визначення ризику для людини й навколишнього середовища протягом реалізації конкретного транспортного процесу.

Ухвалення рішення щодо ризику складається з етапів:

- оцінювання ризику через отримання кількісних значень наслідків;
- аналіз ризиків через порівняння кількісних величин ризиків за різних варіантів реалізації того чи іншого процесу;
- управління ризиком через прийняття організаційно-технічних рішень для визначення черговості вирішення проблем, що спричиняють ризики, знаходження шляхів підвищення екологічної безпеки тощо.

Оцінювання ризику в транспортних системах включає визначення ближніх і віддалених у часі наслідків для екосистеми від систематичних викидів забруднюючих речовин при нормальному функціонуванні транспорту, а також у разі аварій, зокрема під час транспортування небезпечних вантажів.

В процесі управління екологічним ризиком в транспортних системах проводиться вибір заходів щодо підвищення екологічної безпеки транспортних процесів, вирішуються питання страхування перевезення небезпечних вантажів та інших видів діяльності.

Транспортні аварії і катастрофи призводять до економічних втрат та збитків.

Основними причинами високої аварійності на автомобільному транспорті є:

- перевищення швидкості руху;
- порушення правил маневрування, проїзду перехресть та залізничних переїздів;
- порушення правил перевезення пасажирів;
- незадовільний технічний стан автомобілів;
- незадовільні дорожні умови.

На залізничному транспорті найбільшої шкоди навколишньому середовищу завдають аварії під час перевезення небезпечних вантажів. Вони призводять до пожеж, вибухів, розливів небезпечних речовин, потрапляння їх у водойми тощо. Основними причинами аварій називають відмови технічних засобів і обладнання (рухомий склад, мости, тунелі, інші штучні споруди та ін.), незадовільна підготовка

рухомого складу до перевезення небезпечних вантажів, незадовільний стан колійного господарства тощо.

На трубопроводному транспорті найбільш небезпечними є аварії на газопроводах та нафтопроводах тому, що в багатьох випадках супроводжуюся вибухами, займаннями газу (продуктів переробки нафти), виливанням нафтопродуктів з трубопроводів у місцях перетину їх з водоймами, потраплянням їх в ґрунт. Основні причини аварій на трубопроводах відбуваються внаслідок порушення технічних умов під час будівництва трубопроводів, зовнішніми впливами на трубопроводи.

Екологія транспортних тунелів.

Влаштування тунелів є одним із сучасних способів вирішення багатьох екологічних проблем, пов'язаних з транспортом, особливо у великих містах (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Транспортний тунель довжиною 1,1 км (м. Катовіце, Польща)

Завдяки новітнім мікропроцесорним технологіям сьогодні тунель не розглядається як занадто складана система, але простою її важко назвати. Достатньо подивитися на екран системи управління (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Екран системи управління сучасним транспортним тунелем (м. Катовіце, Польща)

Переміщення транспортних потоків нижче рівня землі дає змогу знизити рівень екологічного навантаження атмосфери від транспорту в приземному шарі, знизити рівень шуму в містах, підвищити безпеку руху тощо.

Екологічні проблеми під час експлуатації транспортних підземних тунелів, можуть виникати з причин:

- використання недосконалих технологій;
- порушення правил їх експлуатації;
- недостатність фінансування.

Але, екологічні проблеми виникають вже під час будівництва тунелів. До них відносяться зміна рівня ґрунтових вод, руйнування екологічної рівноваги, що вже склалася, забруднення від роботи будівельних та транспортних машин.

Під час експлуатації тунелю спостерігаються: шумове забруднення як всередині тунелю, так і на виході з нього, забруднення повітря навколо тунелю під час роботи системи його вентиляції.

Зміна рівня ґрунтових вод суттєво впливає на прилеглі території і на місцеві біотопи. Іноді цей вплив може поширюватися на відстань до десятків кілометрів. Особливо сильно він проявляється в понижених місцевостях.

Для збереження вологолюбивих біотопів виникає необхідність перекачування води під час будівництва тунелю у місця, що потребують зволоження. Використання тунелю потребує не лише його захисту від ґрунтових вод, але й збереження їх потоку.

Шумовий вплив транспорту під час експлуатації в тунелю часто перевищує допустимий рівень, для захисту від цього впливу застосовуються шумові екрани.

Вентиляція всередині тунелю здійснюється спеціальними пристроями, які працюють практично безшумно. Розраховується вентиляція з врахуванням факторів:

- забруднення повітря CO;
- забруднення оксидами азоту NO_x;
- припустимий рівень задимленості;
- параметри, які впливають на об'єм свіжого повітря, що подається в тунель (температура середовища, швидкість потоку повітря, повздовжній профіль дороги, переважаючи типи транспортних засобів, їх швидкість тощо).

3.2. Людський фактор у забезпеченні надійності та стійкості міських логістичних систем

3.2. The human factor in ensuring the reliability and sustainability of urban logistics systems

Працездатність і надійність водія

Психічний стан людини – це стійка структурна організація компонентів психіки, що виконує функцію активної взаємодії людини з зовнішнім середовищем, представленим у певний момент конкретною ситуацією.

Виникаючі у процесі трудової діяльності, психічні стани класифікуються за групами:

- відносно стійкі та тривалі за часом стани;
- тимчасові, ситуативні, короткотривалі стани.
- стани, що виникають періодично в ході трудової діяльності.

Стійкі та тривалі за часом стани характеризують загальний психологічний настрій колективу. Друга група виникає під впливом різного роду збоїв у виробничому процесі або у взаємовідносинах в колективі. До третьої групи станів відносять: схильність до роботи, занижене бажання працювати, підвищена працездатність, втомленість тощо.

За ознакою переважання однієї зі сторін психіки розрізняють стани:

- емоційні, вольові;
- в яких домінують процеси сприйняття і відчуття;
- уваги (неуважності, зосередженості);
- для яких характерна розумова активність (задум, натхнення тощо).

Найбільш важливе для психології праці розуміння станів за рівнем напруження. Ця ознака значно впливає на ефективність і результати роботи. Помірне напруження є нормальним робочим станом, більше того, воно необхідне для успішного досягнення результату. Воно супроводжується помірною зміною фізіологічних реакцій людини, проявляється у доброму самопочутті, стабільності і впевненості дій. Помірне напруження притаманне роботі в оптимальному режимі.

Підвищена напруга відбувається в екстремальних ситуаціях, на відміну від оптимального режиму роботи, який здійснюється в комфортних умовах (обстановка є звичною, робочі дії мають звичайний порядок, мислення логічне і послідовне).

В оптимальних умовах результат роботи досягається при невисоких нервово-психічних витратах. Зазвичай мають місце: збереження працездатності, відсутність грубих порушень, помилок, відмов, зривів та інших негативних явищ. Робота в оптимальному режимі характеризується високою надійністю й ефективністю.

Екстремальні умови вимагають від працівника максимального психофізіологічного напруження. Несприятливі чинники підвищення напруження поділяють на групи:

- фізіологічний дискомфорт, тобто невідповідність умов нормативним вимогам;
- біологічний страх;
- дефіцит часу;
- підвищена складність завдання та значущість помилкових дій;
- неуспіх унаслідок об'єктивних обставин;
- дефіцит або перевантаження інформацією для прийняття рішень;
- конфліктні умови (виконання однієї умови вимагає дій, що суперечать виконанню іншої).

Операторська діяльність та її фізіологічні основи.

Операторська діяльність – специфічний вид трудової діяльності, що виник на певному етапі розвитку техніки і виробництва. За багатьма ознаками роботу водія також можна віднести до операторської.

Психологічний аналіз діяльності передбачає розгляд її як складного, багатогранного явища, що динамічно розвивається.

Силою, що спонукає людину до дії, може бути не тільки його потреба, а й потреби інших людей. Рівень мотивації людини визначають саме тим, якою мірою в мотивах конкретної людини відображаються суспільні потреби: чим більше в них пред'явлені ці потреби, тим вище оцінюється і рівень мотивації. Те, як громадські потреби відображаються в мотивах індивіда, залежить від його позиції в системі суспільних відносин.

Протягом життя у кожної людини формується певна система мотивів, одні з яких стають домінуючими, інші – вторинними. Цю систему в психології часто називають мотиваційною сферою. Як саме у тієї чи іншої людини формується мотиваційна сфера, залежить від умов його соціального розвитку. Одним з головних умов формування та розвитку мотиваційної сфери людини є така організація його професійної підготовки і професійної діяльності, яка б розкривала перспективи його розвитку та суспільну значимість його діяльності.

В основі роботи оператора будь-якої системи лежать інформаційні моделі. Інформаційна модель – це сукупність поточної інформації, що дає оператору повне уявлення про стан об'єкта управління та зовнішнього середовища. Інформаційною моделлю для водія автомобіля є сукупність інформації, що надходить до нього від дороги, середовища і автомобіля, на підставі якої він отримує цілісне уявлення про стан свого автомобіля в системі «ВАДС» (водій-автомобіль-середовище-дорога) в кожен конкретний момент.

Однак, якщо водія замінити людиною без досвіду, навичок з керування автомобіля, знань правил дорожнього руху, вона не зможе керувати автомобілем, хоча буде отримувати ту ж саму інформацію, яку отримує водій. Тобто, для управління автомобілем недостатньо сприйняття інформації, потрібно ще зрозуміти її сенс, оцінити її значення для виконання цілеспрямованих дій, потрібні спеціальні знання, навички та досвід. На їх у свідомості водія створюється уявлення про майбутні дії в кожному конкретному випадку. В інженерній психології це уявлення майбутньої діяльності називають концептуальною моделлю. Концептуальна модель – це модель керуючих дій на підставі інформаційної моделі і минулого досвіду.

Основну потік інформації на водія надходить у вигляді реальних образів від дороги, середовища, руху як свого автомобіля, так і інших учасників дорожнього руху. Лише незначну частину інформації він отримує від показань контрольно-вимірних приладів.

На відміну від операторів інших систем управління, невелика частина інформації, яку отримує водій, потребує декодування. На підставі вищенаведеного у водія формується інформаційна модель, яка дає уявлення про стан автомобіля в конкретній дорожній обстановці в даний момент часу. Концептуальна модель являє собою узагальнене уявлення про способи вирішення завдань управління при зміні стану системи в цілому, можливі свої дії та дії складових системи, порушення, відмови, аварії тощо. Тобто концептуальна модель – це уявний образ дій водія при керуванні автомобілем на найближчий час. Дані, які відображені в інформаційній моделі, доповнюються необхідною інформацією з минулого досвіду, що в кінцевому рахунку веде до формування концептуальної моделі, якою водій керується для прийняття рішень та виконання необхідних дій.

В формуванні концептуальної моделі велику роль відіграють не тільки безпосереднє сприйняття об'єктів, ситуацій тощо, а й спеціально створені системи знаків, мова, карти, схеми тощо. Людина, що володіє методами роботи зі знаками та знаковими системами, може легко сформулювати концептуальну модель ситуації навіть у тому випадку, якщо вона її ніколи не зустрічала в практичній діяльності.

Як показують дослідження, діяльність може мати різні рівні організації, що залежать від того, як вона планується. Найбільш простий рівнем є робота за орієнтирами. У цьому випадку дії будуються за принципом відповідей на вхідні сигнали. Діяльність тут повністю підпорядкована ходу зовнішніх подій. Якщо людина діє за орієнтирами, то вона не має заздалегідь обдуманого і чіткого плану. В умовах, коли сигнали, що вимагають відповідних дій, мають випадковий характер і виникають часто, діяльність стає дуже напруженою, іноді хаотичною. Такий рівень організації характерний для недосвідчених операторів.

Наступний, більш високий рівень діяльності – це робота за зразком або по шаблону. В такому випадку людина має стандартний план і прагне виконувати дії завжди в одному і тому ж порядку. Але важкі умови, виникнення несподіванок тощо, можуть дезорганізувати діяльність, що відбувається за стандартним планом.

Найбільш високий рівень – це планування діяльності з прорахуванням виникнення тих чи інших подій. У цьому випадку намічається загальна стратегія діяльності, що дає можливість в залежності від виникнення обставин змінити характер і послідовність дій.

Для безпеки дорожнього руху велике значення має здатність водія передбачати зміни дорожньої ситуації, щоб запобігти виникненню небезпеки. Передбачення майбутнього перебігу подій називається прогнозуванням. Здатність водія до прогнозування свідчить про високий рівень його кваліфікації. Людина здатна

сприймати і аналізувати інформацію, пов'язану тільки з однією операцією, якщо це стосується дій, які вимагають осмислення і прийняття рішення. Якщо дії виконуються автоматично, людина здатна їх робити декілька одночасно. Також одночасно з дією, яка вимагає прийняття рішення, людина може виконувати ряд інших автоматичних дій. Наприклад, водій може одночасно натискати на педаль зчеплення і гальма, встановлювати нейтральну передачу коробки передач, вмикати показчик повороту і розмовляти з пасажиром.

Для забезпечення високої ефективності та надійності роботи водія, інформація повинна передаватися йому способом, який би дозволяв не тільки оцінювати поточний стан об'єкта управління і середовища, але й передбачати можливі їх зміни. Це дає можливість приймати заздалегідь правильні рішення.

Людина має конкретні задачі при побудові концептуальної моделі, при плануванні і при виконанні дій.

В загальному випадку прийняття рішення – це вибір з декількох шляхів одного щодо виконання завдання. Процес прийняття рішення має складові:

- виявлення проблемної ситуації;
- формулювання різних варіантів рішення;
- оцінка (контроль) запропонованих варіантів;
- вибір варіанта рішення, який забезпечує досягнення результату (як правило з урахуванням певних критеріїв).

Залежно від співвідношення процесів формулювання різних варіантів існують наступні типи прийняття рішення:

- імпульсивне (приймають без контролю);
- з ризиком (контролюють лише частково);
- врівноважене (процеси формулювання і їх контроль збалансовані);
- обережне (контроль починає пригнічувати формулювання варіантів);
- інертне (контроль пригнічує процеси формулювання варіантів і вони відбуваються повільно).

Імпульсивний та інертний типи ухвалення рішення є найменш ефективними, найбільш ефективними є рішення, що поєднують ризик з обачністю.

Процес передачі інформації повинен розроблятися з урахуванням не тільки її прийому, але з урахуванням необхідності прийняття рішення. В зв'язку з цим критичним є питання про співвідношення обсягу переданої інформації і повноти відображення ситуації. З однієї сторони, чим повніше відображається об'єкт управління та навколишнє середовище, тим більше ймовірність, що людина прийме правильне і своєчасне рішення. З другої сторони, це може призвести до

перевантаження людини об'ємом інформації, з яким він може не справитися, що призведе до затримки прийняття рішення.

Найбільш раціональний вихід - це передача інформації порціями, кожна з яких не перевищувала б можливостей людини по їх прийому та обробки, але щоб вони забезпечували необхідну повноту відображення стану системи управління.

Зорова працездатності в діяльності водія, критерії оцінки.

Близько 90 % усієї інформації водій отримує через зоровий аналізатор.

Основними характеристиками зорового сприйняття є:

- кутові розміри;
- рівень адаптації яскравості;
- контраст між об'єктом і фоном;
- критична частота миготіння;
- інерція очей.

Під кутовим розміром зображення розуміють кут між двома променями, що спрямовані від очей спостерігача до крайніх точок об'єкта спостереження.

Під рівнем адаптації яскравості розуміють такий її рівень, до якого пристосовані очі людини.

Контраст визначають як відношення різниці яскравостей зображення і фону до яскравості фону. Розрізняють прямий (спостережуваний об'єкт темніший фону) і зворотний (спостережуваний об'єкт світліший фону) контрасти.

Критична частота миготіння (КЧМ) – це частота появи світлового сигналу, яку око ще здатне розрізнити. Треба розуміти, що КЧМ залежить від яскравості.

Час інерції очей визначають часом збереження впливу світла на його сітківку після закінчення цього впливу.

Зменшення яскравості до деякого критичного значення є для людини сигналом до дії.

Затримка сприйняття світлових сигналів залежить від їх енергії, яка пропорційна освітленості об'єкта.

Важливою характеристикою зорового аналізатора людини є сліпуча яскравість і відносна видимість.

Сліпучу яскравість визначають розміром освітлення поверхні об'єкта, який спостерігають і яскравістю сигналу.

Відносна видимість умовно можна вважати енергетичною характеристикою зорового аналізатора.

Важливим показником зорового сприйняття є його обсяг, який визначають числом об'єктів спостереження, які може охопити людина-оператор протягом однієї зорової фіксації. При пред'явленні людині не пов'язаних між собою об'єктів спостереження обсяг сприйняття складає 4-8 елементів.

Умовно все поле зору можна розділити на три зони:

- центральну (приблизно 4°), де можливе найбільш чітке розрізнення деталей;
- ясного бачення ($30...35^\circ$), де нерухоме око може впізнати предмет без різних дрібних деталей;
- периферичного зору ($75...90^\circ$), де предмети виявляються, але не орієнтуються.

Зона периферичного зору грає істотну роль при орієнтації у зовнішній обстановці. Об'єкти, що знаходяться в цій зоні, легко і досить швидко можуть бути переміщені в зону ясного бачення за допомогою швидкого руху (стрибка) очей.

Важливу роль у процесі зорового сприйняття відіграє рух очей. Вони поділяються на пошукові, або настановчі і пізнавальні.

За допомогою пошукових рухів відслідковують заданий об'єкт спостереження, встановлюють вихідну позицію, яка далі коригується.

Тривалість пошукових рухів за нормальних умов діяльності визначають кутом, на який переміщується погляд.

До пізнавального належить рух, що бере участь в обстеженні об'єкта спостереження, його впізнання і розрізнення окремих елементів зображення. Основну інформацію про об'єкт спостереження око одержує під час фіксації, коли воно нерухомо і погляд пильно спрямований на об'єкт.

Під час «стрибка» око майже не отримує жодної інформації. Якщо тривалість стрибка в середньому становить 0,025 с, то тривалість фіксації в залежності від умов сприйняття інформації дорівнює 0,25...0,65 с і більше. Загальний час фіксації очей становить 90...95 % від часу зорового сприйняття.

Всі параметри зорового сприйняття людини взаємопов'язані між собою так, що зменшення чисельного значення одного з них потребує збільшення інших, щоб енергетично весь процес залишався незмінним.

Але, змінювати значення параметрів зорового сприйняття можна тільки в певних межах, оскільки кожен з них характеризується своїм граничним значенням, непоправним ніяким збільшенням іншого параметра. Наприклад, зниження яскравості сигналів до значення, меншого порога виявлення, не може бути скомпенсовано збільшенням розмірів зображення або часом спостереження. Людина помічає сигнали лише при перевищенні їх порогів чутливості ока.

Діапазон яскравості, що сприймається оком з урахуванням його адаптації, лежить у межах 10^{-7} - 10^{-5} кд/м².

Важливою властивістю ока є зміна його чутливості в залежності від впливу на нього світлових подразників. Дана властивість дозволяє охороняти зір людини при великих рівнях яскравості і розрізняти предмети при слабких рівнях. При переході людини в темряву, світлова чутливість очей збільшується (темнова адаптація). При цьому, чим менша різниця яскравості, тим швидше йде зростання світлової чутливості, яка встановлюється на відносно постійному рівні через 40–60 хв.

При зоровій різниці яскравості світлова чутливість ока спочатку буде незначною і встановиться на постійному рівні через 60...80 хв.

Перехід людини з темряви до дії великих рівнів яскравості викликає зменшення світлової чутливості (світлова адаптація), яка встановлюється на відносно постійному рівні через 5...10 хв. Чим вищий рівень яскравості, тим менша світлова чутливість. Якщо відношення яскравостей при зміні становить 10...30, час адаптації не перевищує 1 с. При відношенні яскравостей 3...5 зорова система постійно адаптована на поточні значення яскравостей.

Зі збільшенням інерції ока зростає його роздільна сила, а зі збільшенням яскравості зменшується час інерції і гострота зору. Інерція зору дорівнює для центрального зору 0,1...0,2 с і для периферичного 0,1...0,32 с.

Якість сприйняття водієм зорової інформації залежить від його здатності правильно і швидко сприймати простір і час. При сприйнятті простору для водія є найбільш важливим сприйняття відстані між об'єктами і віддаленості їх від нього. До просторового сприйняття відносяться: гострота зору, поле зору і глибинний зір.

Гострота зору – це здатність ока розрізняти деталі предметів. При нормальній гостроті зору людина здатна розрізняти дві точки, які розділені відстанню в одну кутову хвилину. Найкраща гострота зору - це центральний зір в конусі з кутом 3°, хороша гострота зору – в конусі 5...6°, задовільна – в конусі 12...14°. Предмети, що розташовані за межами кута 14°, видно без ясних деталей і кольору. Гострота зору до периферії знижується в чотири рази, і цей зір (на відміну від центрального) називається периферичним або бічним. Дорожні знаки треба розміщувати в центральному полі зору в межах зорового конуса з кутом не більше 10°. При нормальній гостроті зору водій чітко розрізняє форму дорожніх знаків, всі об'єкти на дорозі і їх деталі. Короткозорий водій добре бачить показання приладів на щитку автомобіля і погано бачить дорогу. Далекозорий - навпаки: чітко бачить дорогу і гірше показання приладів.

Поле зору – це видимий простір, який людина може охопити поглядом не рухаючи яблуком ока. Поле зору для білого кольору поширюється до зовнішньої сторони на 90° , до внутрішньої та вгору на 65° і вниз на 75° . Але це монокулярне поле зору (для одного ока). Бінокулярне поле зору (зір двома очима) становить $120\dots130^\circ$ і практично охоплює весь простір перед автомобілем. Поле зору при переміщенні погляду може бути збільшене до 150° , що забезпечує кращу безпеку дорожнього руху.

Розміри поля зору залежать від кольору предмета, що розглядається. Для блакитного кольору межа поля зору на $10\dots15^\circ$ менша, ніж для білого, а для червоного менша, ніж блакитного. Для зеленого кольору поле зору майже вдвічі менше поля зору для білого кольору.

При значному звуженні поля зору водії можуть допускати помилки в керуванні автомобілем (наприклад, не помітити пішохода на узбіччі, неправильно оцінити відстані до нерухомого або випередженого автомобіля, втратити важливі деталі дорожньої обстановки тощо). Тому особи, у яких поле зору для білого кольору звужене більш ніж на 20° , до управління автомобілем не допускаються.

Глибинний зір – це властивість розрізняти відстань до різних об'єктів і між об'єктами. Найбільш правильне сприйняття простору досягають знанням розмірів предметів, що часто зустрічаються під час руху. Систематичне тренування у визначенні відстаней розвиває окомір (важлива складова професійної майстерності водія). Водій-початківець через невміння правильно оцінити ширину дороги при її звуженні необґрунтовано може знижувати швидкість або зупинити автомобіль. Помилки оцінювання ширини проїзної частини можуть допускати і досвідчені водії при переході на автомобіль з іншими габаритами. Це пояснюється зміною відстані від очей водія до дорожнього покриття і розташованих на ньому об'єктів. Для відновлення втраченого досвіду потрібно деякий час, що необхідно обов'язково враховувати.

Зі збільшенням швидкості руху водій спрямовує свій погляд на ділянку дороги далі від автомобіля. Чим далі він переносить свій погляд, тим ширше ділянка дороги, що сприймається ним, тим більше об'єктів у його полі зору. Наприклад, на відстані 30 м водій сприймає ділянку дороги шириною 1,5 м, на відстані 500 м – 16 м. Для обгону автомобіля водій має бачити перед собою дорогу на відстані не менше 600...800 м, що забезпечує найкращу безпеку руху.

Важливу інформацію водій отримує від дорожніх знаків. Чіткість і швидкість їх сприйняття багато в чому залежать від розмірів знаків і відстані до них, швидкості руху автомобіля і контрастності букв і символів. При поганій контрастності час

сприйняття знаків може збільшуватися на 0,6...0,7 с. Тому передбачено чотири розміри дорожніх знаків і максимально чітке зображення символів.

Для сприйняття предметів необхідно фіксувати їх зором на 0,1...0,3 с. Якщо в зоні периферичного зору з'являється рухомий об'єкт або яскраве світло, водій мимоволі переміщає очі і голову так, щоб цей предмет виявився в полі центрального зору. На це потрібен час, протягом якого водій випускає з поля зору об'єкти, що знаходяться на дорозі. Встановлено, що при управлінні автомобілем 78...80 % часу погляд водія спрямований прямо, а в 20..22 % вправо, вліво, на дзеркало заднього виду і на прилади.

Причиною багатьох ДТП при переїзді перехрестя є відволікання уваги водія від дороги. Чим вища швидкість руху автомобіля перед перехрестям, тим менше часу залишається на операції, що пов'язані з перетином перехрестя і сприйняттям найбільш важливих об'єктів: учасників руху, засобів регулювання, регулювальника тощо.

Час, що необхідний водієві для сприйняття ситуації при перетині перехрестя, складається з часу руху очей вліво (0,15...0,23 с), фіксації очей на лівому боці (0,1...0,3 с), перенесення погляду вправо (0,15...0,3 с), фіксації очей на правому боці (0,1...0,3 с). Загальний час огляду становить 0,5...1,16 с. За швидкості 80 км/год автомобіль пройде відстань 11,1...25,75 м. При проїзді перехрестя в умовах недостатній видимості або обмеженої оглядовості час, що необхідний для сприйняття дорожньої обстановки та прийняття рішення, значно збільшується.

Особливо важка оцінка відстаней до рухомих об'єктів. Сприйняття параметрів руху об'єктів (перш за все швидкостей і напрямків руху) при цьому відбувається за допомогою динамічного окоміру. В результаті сприйняття і врахування відстаней та швидкостей руху всіх учасників конкретної дорожньої ситуації, водій або дасть дорогу, або обере таку швидкість руху, яка дозволить йому безпечно проїхати дану ділянку дороги.

Гострота динамічного зору залежить від кутової швидкості руху об'єкта, ступеня координації між шийними і очними м'язами, а також від ступеня розвитку периферичного зору. Від кутової швидкості об'єкта залежить час, протягом якого водій на безпечній відстані може фіксувати цей об'єкт своїм зором. Ступінь координації шийних і очних м'язів визначає швидкість і точність фіксації руху об'єкта в центральному полі зору, без них неможливе його точне сприйняття.

Чим ширше поле зору, тим менше часу потрібно на переміщення очей для фіксування рухомих об'єктів у центральному полі зору. Зовнішні очні м'язи є самими швидкодіючими у всьому організмі, але якщо предмет рухається з занадто

високою кутовою швидкістю, то м'язи не встигають фіксувати об'єкт у центральному полі зору. У результаті він сприймається як розмита пляма. Добре розвинений динамічний окомір необхідний водієві для вибору безпечної дистанції та інтервалу, випередженні, об'їзді, обгоні, в'їзді в ворота, роз'їзді, зміні смуги руху тощо.

Велике значення для водія має правильна оцінка часу. Уміння точно оцінювати часові інтервали (особливо мікроінтервали) має іноді вирішальне значення в забезпеченні безпеки руху при виконанні різних маневрів на великих швидкостях. Це пояснюється тим, що зі сприйняттям мікроінтервалів часу пов'язане визначення швидкості руху автомобіля.

Правильна оцінка швидкості руху об'єктів є одним з основних елементів, що визначають майстерність водія. Неточна оцінка часового інтервалу призводить до зайвої поспішності, різким прийомам керування і, як наслідок, до аварійної ситуації. Так, наприклад, переважна більшість помилок водіїв при обгоні пов'язані з неправильною оцінкою мікроінтервалів часу і, отже, швидкості автомобіля.

Водії часто допускають помилки при зниженні швидкості після тривалого руху з великою швидкістю. Водії з невеликим досвідом нерідко допускають помилки в сприйнятті і оцінці коротких проміжків часу. Найбільш небезпечна ситуація виникає, коли за нестачею часу водієві здається, що його цілком достатньо для виконання маневру. Так, нерідко помилки при обгоні пов'язані з переоцінкою мікроінтервалів часу, тобто неправильною оцінкою швидкості.

На точність сприйняття часу впливають індивідуальні особливості людини та її емоційний стан. Відомо, що при хорошому настрої, виконанні цікавої роботи час летить дуже швидко і годинні інтервали недооцінюються. І навпаки, при поганому настрої, негативних емоціях час як би сповільнюється. Ці стани позначаються і на точності оцінювання мікроінтервалів часу водіями автомобілів.

При управлінні автомобілем предмети та явища іноді можуть сприйматися водієм в неправильному, викривленому вигляді. Таке сприйняття називають ілюзією. Найбільш часто ілюзії виникають при визначенні розмірів предметів та напрямки руху.

В діяльності водія найбільш часто зустрічаються ілюзії внаслідок контрастності сприйняття, ілюзії перспективи, мінливого рельєфу тощо. Наприклад, водій, здійснюючи обгін на великій швидкості, сприймає дорогу як більш вузьку, ніж насправді. Правильне сприйняття ширини дороги може бути спотворене перспективою повороту, на якому дорога здається значно вужчою. Нерідко кругові повороти дороги сприймаються як еліпси, довжина кривих водієві

здається зменшеною, а крутизна повороту збільшеною. Щодо пологих підйомів, то за довгими спусками вони сприймаються більш крутими. При певному куті освітлення сухе асфальтоване покриття здається мокрим. Коли фари головного світла автомобіля висвітлюють дорогу на відстані, створюється враження руху на спуск, і навпаки. Двоярусні габаритні ліхтарі на автобусах створюють враження, що на дорозі знаходиться не один, а два автомобілі і дорога йде вгору.

Зазначено, що рух автомобілів з темним забарвленням (чорним або темно-зеленим) здається більш повільним, а відстань до них більша, ніж насправді. Саме цим можна пояснити, що автомобілі темних кольорів значно частіше потрапляють в аварії. Автомобілі світлих кольорів, і особливо червоного, добре виділяючись на навколишньому фоні, сприймаються ніби знаходяться ближче і рухаються з більшою швидкістю, ніж насправді. Це змушує водіїв зустрічних автомобілів швидше вживати заходів обережності, що підвищує безпеку дорожнього руху. Таким чином, безпека руху залежить і від кольору автомобілів. Данські експерти встановили, що 61,3 % зіткнень відбувається між автомобілями темних кольорів, 32,6 % – темних зі світлими і лише 6,1 % – світлих зі світлими. Рідше за всіх потрапляють в ДТП автомобілі жовтого кольору. Однак, підвищення безпеки дорожнього руху потоку з автомобілів білого або червоного кольору не спостерігається, оскільки монотонність стомлює водіїв і перешкоджає вчасно помітити, наприклад, спеціальні автомобілі, що рухаються з великою швидкістю.

Ілюзії варто відрізнити від галюцинацій, при яких людина бачить предмети, явища, чує звуки, що насправді відсутні. Галюцинації є результатом дуже втомленого (і/або хворобливого) стану людини. При ілюзіях об'єкт сприйняття завжди реально існує, але сприймається спотворено. У різних людей ілюзії виникають з різною частотою, проявляються в різній формі, різною мірою вираженості і стійкості. Частота виникнення і вираженості ілюзій залежить від яскравості виникнення уявлень. Так, деяким особам варто тільки подумати або засумніватися у правильності сприйняття, як виникає ілюзія. Сприяючими умовами для виникнення ілюзії у водіїв є:

- негативні емоції (невпевненість, страх, сумнів);
- ослаблення уваги;
- стомлення, сонливість за кермом;
- алкогольне сп'яніння;
- неправильна робоча поза.

Основними заходами боротьби з ілюзіями є правильний режим праці та відпочинку, знання водіями характеру і причин їх виникнення, отримання навичок

управління автомобілем і підвищення впевненості в собі, правильний розподіл і усунення недоліків своєї уваги.

Для попередження ілюзій рекомендуються заходи, які спрямовані на зниження впливу монотонних подразників, що викликають сонливість. Наприклад, у водіїв нерідко виникає сонливість при тривалому русі на прямих ділянках дороги. Щоб це виключити, рекомендовано при будівництві через кожні 3 км передбачати криві ділянки дороги. Для зниження монотонності руху окремі ділянки дороги фарбують у різні кольори, використовують озеленення роздільної смуги тощо.

Багато людей не бачать різниці між червоним (заборонним) і зеленим (дозволяючим) світлом. Це дальтоніки - люди з порушеним кольоровим зором (чоловіки дальтоніки становлять 4...6 %, жінки 0,5 %). Такі особи непридатні для управління автомобілем. В основному це люди зі слабо вираженим дефектом кольоророзпізнання, тому при первинному медичному огляді їх не завжди виявляють. Вони відрізняють червоний колір від зеленого, але цей процес у них відбувається повільніше, з помилками, що може призвести до ДТП. Тому, згідно з правилами дорожнього руху, на світлофорах з вертикальним розташуванням сигналів червоний сигнал завжди вгорі, зелений внизу, а з горизонтальним розташуванням – червоний завжди ліворуч, зелений праворуч. В деяких країнах звичайні світлофори доповнюють геометричними фігурами, що світяться. Використання таких прийомів знижує ДТП, що створюють водії, у яких функція розпізнавання кольорів знижена.

Для регулювання дорожнього руху вибрані зелений, червоний і жовтий кольори. Справа в тому, що туман поглинає сині і зелені промені, тому зелений колір у тумані сприймають як жовтий, а жовтий як червоний. Якщо водій і прийме помилково жовтий колір за червоний, а зелений за жовтий, то такі помилки не створять небезпеки дорожнього руху. Крім того, промені червоного кольору мають найбільшу довжину хвилі і поширюються з найменшими втратами, такий колір видно на більшій відстані, тому саме він використано як заборонний сигнал.

Якість зорового сприйняття залежить також від видимості і оглядовості. Видимістю називають максимальну відстань, на якій можна чітко розпізнати межі елементів дороги та розміщення учасників руху, що дає змогу водієві орієнтуватися під час керування транспортним засобом, зокрема для вибору безпечної швидкості та здійснення безпечного маневру. Видимість залежить від часу доби і стану атмосфери, природних явищ. Вона знижується в темний час доби, в дощ, снігопад, туман тощо. Поняття ступню видимості означає пов'язано з деталями дороги та об'єктів, які бачить водій .

Оглядовість – це об'єктивна можливість бачити дорожню обстановку (сукупність факторів, що характеризуються дорожніми умовами, наявністю перешкод на певній ділянці дороги, інтенсивністю і рівнем організації дорожнього руху). Оглядовість залежить від багатьох факторів: профілю дороги, наявності інших учасників дорожнього руху, елементів інфраструктури, конструктивних особливостей автомобіля (розмірів лобового скла, дзеркала заднього виду, висоти сидіння і можливості його регулювання). В обстановці щільного багаторядного руху погляд водія переміщується в межах 40...50° вліво і вправо і в межах 20...30° вгору, що необхідно для сприйняття сигналів світлофорів. При перетині перехрестя, поворотах потрібна оглядовість 80...90° в обидва боки, а при обгоні або зміні смуги – 180°. Оглядовість погіршується при тонуванні, забрудненні (запотіванні) скла, підвищенні сторонніх предметів на скло (в тому числі тримачів мобільних телефонів, навігаторів тощо), використанні занавісок. Це може ускладнити орієнтування водія і бути причиною ДТП.

Підсумовуючи дані про зв'язок між функціональною характеристикою зорового апарату, зорової роботою і суб'єктивними проявами втоми, можна відзначити наступне:

- симптоми астенопії (очний розлад або стомлення очей, що швидко наступає під час зорової роботи, особливо при розгляді дрібних предметів, що знаходяться на невеликій відстані від очей. Це стан очей, який проявляється через неспецифічні симптоми, такі як втома, біль в очах або навколо очей, помутніння зору, головний біль і випадковий подвійний зір. Симптоми часто виникають після читання, комп'ютерної роботи або інших близьких дій, що включають виснажливі візуальні завдання) з'являються, коли навантаження наближається до «межі», що характеризується порогом або функціональною амплітудою, звідси можна зробити висновок про те, що ймовірність стомлення при зоровій роботі тим більша, чим вище поріг (або менша амплітуда) істотних функцій зору, тобто чим гірша функціональна характеристика зорової системи;

- при «невизначеній» зоровій роботі індивідуальні зміни різних функціональних показників, що характеризують стан зорового апарату, суперечливі на кожному даному відрізку часу виконання роботи, ці показники виявляють тенденцію до зниження при настанні стану втоми;

- характер симптомів при зоровому дискомфорті та інтенсивність відчуттів дискомфорту не залежить від причин, що викликають стомлення, і є індивідуальними.

Монотонність дій і стан втоми.

Втома – це фізіологічний стан організму, який супроводжує тривалу й інтенсивну роботу і виражається у тимчасовому розладі функцій клітин кори головного мозку. Цей розлад розповсюджується і на інші системи організму, що в кінцевому рахунку призводить до тимчасового зниження працездатності.

Стомлення визначається зміною функціонального стану людини. Воно супроводжується зменшенням обсягів виконаної роботи і являє собою складний комплекс явищ. Повний зміст його визначається не тільки фізіологічним, але також психологічним, результативно-виробничим і соціальним факторами. Виходячи з цього, стомлення розглядається як:

- психічний стан (з суб'єктивного боку);
- як фізіологічний стан;
- причина зниження продуктивності праці.

Особливий інтерес викликає втома як особливий психічний стан, що переживається своєрідно. Компоненти втоми розглядаються як переживання і до них належать:

- почуття слабосилля;
- розлад уваги;
- сенсорні розлади;
- порушення в моторній сфері;
- дефекти пам'яті та мислення;
- ослаблення волі;
- сонливість;

Стомлення проявляється в тому, що людина відчуває погіршення своїх здатностей, навіть коли продуктивність праці ще не знижується. Це супроводжується переживаннями, напруженням, невпевненістю тощо.

Увага – одна з перших психічних функцій, яка погіршується в процесі виконання роботи, вона легко відвертається, стає млявою, нестійкою тощо.

Розладам під впливом стомлення піддаються рецептори, які брали участь в роботі. Наприклад, в процесі тривалого читання людина нерізно бачить текст. Тривала ручна робота може призвести до ослаблення тактильної чутливості.

Стомлення характеризується уповільненням або безладною квапливістю рухів, розладом їх ритму, ослабленням скоординованості рухів тощо. В стані сильного стомлення виконавець може забути інструкцію, залишити в безладі робоче місце, але добре пам'ятати все, що не стосується роботи. Розумові процеси погіршуються

при втомі від розумової роботи, але фізична робота призводить до зниження кмітливості. При стомленні послаблюються рішучість, витримка і самоконтроль. При сильному стомленні виникає сонливість як захисний чинник організму, людина може заснути в будь-якому положенні.

Стан монотонності також негативно впливає на працездатність людини, призводить до передчасного стомлення. Психічний стан відчуття монотонності викликається одноманітністю рухів і дій. Під впливом стану монотонності людина, яка не вміє цей психічний стан стримувати, стає млявою, байдужою до роботи.

Монотонність завжди пов'язується з виконанням одноманітних і короткочасних операцій. Під монотонністю також розуміють об'єктивну характеристику процесу праці, що впливає на психічний стан людини.

В розумінні природи стану монотонності важливим є розмежування спільних і відмінних рис його в порівнянні зі станом стомлення. Спільне у станів монотонності та стомлення є те, що вони негативно впливають на працездатність людини й обидва сприймаються людиною, як неприємне відчуття. Відмінність між ними полягає в тому, що стомлення викликається тяжкістю розумової або фізичної роботи, а монотонність може проявлятися і при легкій праці. Треба зазначити, що стомлення посилює психічну напруженість, а монотонність навпаки, знижує її.

Стан монотонності відрізняється від психічної насиченості. Психічна насиченість викликає хвилювання, нервозність, занепокоєння, а монотонність навпаки, супроводжується сонливістю та зниженням психічної активності. Психічна насиченість викликається повторенням дій, а для появи монотонності необхідні й інші об'єктивні дані (одноманітність подразників, обмеженість зони уваги тощо). Розмежування психічного насичення і монотонності є відносним, оскільки:

- вони взаємно впливають один на одного;
- їх наслідки діють на стан людини;
- в практиці вони не зустрічаються в крайніх формах, можна зустріти їх поєднання в різних пропорціях.

Стан емоційного напруження.

Емоційне напруження по різному впливає на поведінку людини. В залежності від супутніх процесів збудження або гальмування стан емоційного напруження може виявлятися у формах:

- збудливий, що характеризується підвищеними руховими реакціями, метушливістю, зайвою балакучістю тощо;

- гальмівний, для якого характерні пригнічення діяльності, уповільнення реакції, нездатність реагувати тощо.

Стан емоційного напруження проявляється в загальмованості, сповільненості, імпульсивності тощо, людина стискає рукоятки управління, кусає губи, може мати перекошене обличчя, увага її зосереджена на приладах, на зовнішні подразники реагує імпульсивно, може свідомо ухилятися людини від виконання своїх функцій, в окремих випадках може спостерігатися деяка пасивність та прагнення захистити себе від втручання в події. В аварійних умовах людина відчуває труднощі під час розумової діяльності: знаходиться в нерухомій позі, тре чоло, морщить брови, намагається відтягнути час, відійти пульта управління тощо. Спостерігається також емоція страху, в результаті чого домінує інстинкт самозбереження.

Найбільш яскравою і небезпечною формою прояву емоційної нестійкості людини є агресивно-безконтрольний тип поведінки: зриви діяльності, агресивні та безглузді дії. Але, існує така категорія людей, які, перебуваючи в екстремальних умовах, значно покращують показники своєї діяльності. Це називається прогресивним типом поведінки.

Напружений тип поведінки піддається виправленню. Це досягається спеціальним навчанням щодо формування відповідних навичок, при наявності яких діяльність людини набуває стабільності, надійності і стійкості до подразників.

Психологи пропонують для підвищення надійності людини в екстремальних умовах використовувати:

- професійний психологічний відбір;
- виховання емоційно-вольових і моральних властивостей особистості;
- створення сприятливого психологічного клімату та умов роботи.

Функціональний стан та методи його оцінки.

Поняття «функціональний стан» характеризує ефективність діяльності людини, тобто можливості людини виконати певну роботу в залежності від її стану. Різні форми активності людини можна характеризувати предметною спрямованістю діяльності, мотивацією та інтенсивністю їх прояву.

Поняття «функціональний стан» виникло і отримало подальший розвиток у фізіології. Основним змістом досліджень був аналіз мобілізаційних можливостей та енергетичних витрат працюючого організму.

Будь-який стан людини виникає в процесі діяльності. Він є результатом взаємодії різних елементарних структур. Деякі види втоми характеризуються певними зрушеннями в діяльності серцево-судинної системи людини. При інтенсивній фізичній роботі збільшуються енергетичні потреби організму, які призводять до збільшення швидкості і об'єму кровотоку, але при цьому знижується сила серцевих скорочень.

Особливістю вивчення різних станів є розуміння як формуються реакції людини на них. Важливим моментом при цьому є наявність комплексу причин, що визначають специфічність стану конкретної людини в конкретній ситуації. Якісна неоднорідність різних станів викликана відмінностями їх причин. Для стану втоми важливого значення набувають фактори виду і тривалості навантаження. Стан емоційної напруженості виникає внаслідок підвищеної значимості роботи, відповідальності за її якісне виконання, складності, ступеню підготовленості людини тощо.

Функціональний стан людини розуміють як інтегральний комплекс характеристик тих функцій і властивостей людини, які прямо чи опосередковано зумовлюють виконання діяльності. Він впливає на ступінь втоми людини та її працездатність. Для водія оцінка функціонального стану важлива, оскільки викликане ним зниження працездатності впливає на безпеку дорожнього руху.

На сьогодні існує багато методів оцінки функціонального стану. Для цього можна використовувати методи психології, фізіології та інженерній психології. Для оцінки фізіологічного стану використовують показники:

- артеріальний тиск, частота пульсу і мінливість ритму серця, глибина і частота дихання, об'єм повітря, що видихається, споживання кисню, показники електроенцефалограми, електроміограми та електрокардіограми, шкірно-гальванічна реакція (ШГР), біохімічні зміни крові і сечі,. Також існує цілий ряд психологічних показників.

Не всі показники фізіологічного стану водія зручно отримувати (аналізувати) безпосередньо під час виконання ним роботи. Але, наприклад, метод ШГР може бути застосований в процесі управління транспортним засобом. Суть його полягає в вимірі різниці потенціалів між окремими точками на поверхні шкіри людини при появі зовнішнього подразника. Справа в тому, що існує зв'язок між емоційним станом людини і електричним опором шкіри.

Результати ШГР суттєво залежать від умов їх виміру, тому велике значення має дотримання методики проведення дослідження. Ці відмінності викликані

інерцією реакції організму людини в процесі передачі збудження. Треба зазначити, що використання лише ШГР недостатньо для загальної оцінки стану водія.

Ще одним методом оцінки функціонального стану є використання критичної частоти злиття мигтінь (КЧЗМ). Його застосовують в психології, фізіології тощо. Сутність методу полягає в використанні джерела світла, частота миготінь якого зростає. Частота, за якої сприймається безперервний потік світла, називається критичною. Метод КЧЗМ дозволяє оцінити функціональний стан через стан зорового аналізатора. Але самотійне його використання не дозволяє зробити висновки щодо стану всього організму, а також неможливо безпосередньо в умовах транспортного процесу.

Існують також тестові методи. Методи якісної оцінки дозволяють за безперервно реєструвати функціональний стан людини (напруженість роботи), але не придатні для оцінювання динаміки зміни працездатності. За допомогою тестів визначають відношення тривалості виконання тестових завдань і кількості здійснюваних помилок до фонових подразників, енерговитрати людини в різні періоди діяльності, працездатність протягом робочого дня (зміни, періоду тощо). Використання лише тестових методів для оцінки стомленості людини не дозволяє зробити об'єктивних висновків.

Функціональний стан людини можна також оцінювати на основі аналізу мови. Існують стійкі фізичні параметри емоційної виразності мови, що відбивають динаміку функціонального стану. Так, за змінами частотних характеристик мови можна робити висновок щодо ступеня і характеру емоційної напруги. Основними інструментами дослідження емоційності мови є спектральний аналіз і його кепстральні варіанти (кепстром називається спектр логарифма спектра хвилі).

Стан нервово-емоційної напруги можна визначити шляхом аналізу концентрації в слині водія натрію і калію. Цей метод є досить чутливим щодо різних рівнів стресу.

Оцінювати функціональний стан можна на основі методів оцінки психічної і фізіологічної складової регуляції гомеостазу (Гомеостаз («однаковий, подібний» + «стан, нерухомість») – саморегуляція, здатність відкритої системи зберігати сталість свого внутрішнього стану за допомогою скоординованих реакцій, спрямованих на підтримку динамічної рівноваги).

Також оцінювати функціональний стан можна на основі аналізу часу елементарних сенсомоторних реакцій.

Діагностика функціонального стану людини можлива на основі оцінки поточних електричних характеристик рефлексогенних зон шкіри. На основі аналізу

електричних властивостей цих зон побудована дія електропунктурного сканера, що призначений для дослідження динаміки функціонального стану.

Для оцінки функціонального стану організму застосовується електрографічний метод газорозрядної візуалізації. Метод оснований на реєстрації світіння поверхні біологічних об'єктів, що розміщені в електромагнітному полі високої напруги.

Також вивчення функціонального стану людини використовують метод комплексної реєстрації психофізіологічних функцій (поліефекторний метод), який дозволяє одночасно реєструвати багато психофізіологічних параметрів. Принцип методу полягає в реєстрації фізіологічних даних (електрокардіограми, часу реакції на світловий імпульс), а також реєстрації елементарних відповідей («так/ні») на тестові запитання і інтервалів часу між відповідями.

Зі всіх вказаних методів все ж найбільш інформаційним є метод оцінки функціонального стану шляхом реєстрації ЕКГ, який найбільш вивчений і методика зняття і аналізу ЕКГ є найбільш досконалою. Потенціали, що виникають у сердечному м'язі, проводяться тканинами до шкіри людини, зміни цих потенціалів фіксуються спеціальними приладами – електрокардіографами. ЕКГ широко використовують у клінічній практиці, в спортивній, авіаційній і космічній медицині, що дає диференційований підхід до кількісної оцінки ступеня участі механізмів регуляції серцевого ритму під час впливу різних факторів на організм. У психофізіології дані ЕКГ слугують основним показником емоційного стану людини при фізичному і розумовому навантаженні.

Зареєстровану криву називають кардіограмою. На ній завжди виразно виділяються зміни потенціалів – зубці. Ці зубці (їх амплітуда, тривалість і відстань між ними) і є головною характеристикою діяльності і стану серця.

При зростанні фізичного навантаження спостерігається збільшення величини зубців і зменшення інтервалу між ними на фоні затухання пульсу. За змінами в ЕКГ можна відслідкувати емоційне і значне фізичне навантаження. Змінюється величина зубців, покращується серцевий ритм. При цьому зміни конкретних зубців пов'язують з розвитком стомлення, психічною напругою, емоційною реакцією.

Найбільш повно зміни, які відбуваються в організмі в цілому, відображає ССС. Вона є функціональною системою, кінцевим результатом діяльності якої є забезпечення заданого рівня функціонування організму, тобто будь-якому заданому рівню функціонування організму відповідає певний рівень функціонування процесу кровообігу. Система кровообігу активно бере участь у всіх проявах життєдіяльності і реагує на щонайменші зміни потреб органів і систем людини і забезпечує узгодження кровотоку. Реакція ССС є показником загальної реакції організму. Ритм

сердечних скорочень є універсальною реакцією організму у відповідь на будь-яке фізичне або емоційне навантаження. Послідовність кардіоінтервалів відбиває інформацію про рівень діяльності людини, стан механізмів фізіологічної регуляції, процеси, що протікають в різних ланках системи управління: нервових центрах, залозах внутрішньої секреції тощо.

Для аналізу динамічних рядів кардіоінтервалів застосовують методи теорії випадкових процесів і теорії ймовірності. Використання математичних методів при дослідженні надійності водіїв, як основної ланки системи «ВАДС», має першочергове значення. Під час статистичного аналізу динамічного ряду інтервалів ЕКГ обчислюють математичне очікування, середнє квадратичне відхилення, коефіцієнт варіації, коефіцієнт асиметрії й ексцес. Математичне очікування є величиною зворотною середній частоті пульсу.

Загально визнаним є індекс напруженості регуляторних систем як показник оцінки функціонального стану водіїв, величина індексу напруженості впливає на довгострокову продуктивність водія. За допомогою цього показника можна оцінювати функціональний стан водіїв не тільки після фізичних, але і розумово-емоційних навантажень.

Однак наведені вище методи математичного аналізу ритму серця дозволяють оцінити тільки окремі елементи системи управління, що складається з п'яти функціональних систем: сумарного ефекту регуляції, функції автоматизму, вегетативного гомеостазу, стійкості регуляції, активності підкіркових нервових центрів.

Запропоновано інтегральний критерій оцінки функціонального стану людини – показник активності регуляторних систем, що відбиває загальну реакцію організму на вплив зовнішніх факторів. Даний показник характеризує напруженість інформаційних каналів регуляції в організмі людини, реакцію цих каналів на вплив факторів навколишнього середовища. З його використанням є можливість оцінки впливу на водіїв складності маршруту руху.

Виявлено, що певний рівень напруги необхідний для підтримки стану середньої нормальної життєдіяльності, як в умовах відносного спокою, так і при звичайній діяльності. Однак перенапруга систем регуляції може призвести до зриву адаптації з неадекватною зміною рівня функціонування основних систем організму. Таким чином, можна зробити висновок, що при будь-якій діяльності людини стан регуляторних механізмів її організму не мусить виходити на рівень надмірного стомлення, перенапруги і зриву адаптації. Особливо це важливо для транспортних систем.

Одним з показників функціонального стану людини вважається працездатність – величина функціональних можливостей організму, що характеризується кількістю і якістю роботи при напрузі максимальної інтенсивності. Рівень працездатності та періодичність її зміни пов'язані з тривалістю фаз функціонального стану людини.

Зміна працездатності залежить від умов трудової діяльності і пов'язаний з фізіологічними закономірностями, особливо з оптимальним і екстремальним регулюванням в організмі людини, які мають різний рівень мобілізації його резервних можливостей. Межа цих можливостей виявляється при стресі, коли включається екстремальний рівень регуляції.

Розрізняють такі фази працездатності:

- перша (мобілізація), коли організм мобілізується, людина обмірковує майбутню роботу, збільшується частота серцебиття, поглиблюється дихання;

- друга (первинна реакція), яка характеризується короткочасністю та деяким зниженням усіх показників, зовнішнім гальмуванням, що виникають в результаті зміни характеру подразника;

- третя (гіперкомпенсація), що відбувається на початковому періоді роботи, характеризується пристосуванням людини до найбільш оптимального режиму виконання роботи, відсутністю точної відповідності реакції організму на величину навантаження (організм реагує на навантаження з більшою силою, ніж це необхідно);

- четверта (компенсація), в якій показники функціонального стану стабільні, режим роботи оптимальний, ефективність праці максимальна;

- п'ята (субкомпенсація), коли рівень фізіологічної реакції знижується, необхідна якість роботи підтримується за рахунок ослаблення менш важливих функцій, компенсація здійснюється за рахунок менш вигідних (енергетично і функціонально) процесів;

- шоста (декомпенсація), коли погіршуються показники фізіологічних систем;

- сьома (зрив), це значний розлад регулюючих механізмів, неадекватність реакцій, різке падіння працездатності, що виникли внаслідок зміни в роботі фізіологічних систем.

Фази субкомпенсації і декомпенсації об'єднуються назвою «фази стомлення». Сьома фаза як правило вимагає тривалого відпочинку, а іноді й лікування.

Надійність людини-оператора визначається її здатністю до збереження заданої ефективності роботи при ускладненні навколишнього оточення.

Поняття «надійність водія» можна визначити по-різному. В інженерній психології для цього все ж таки виходять з поняття надійності людини-оператора.

Психологи розуміють під надійністю водія здатність безпомилково керувати автомобілем. При цьому основними факторами, що визначають надійність, вважають придатність водія до керування автомобілем, його підготовленість і працездатність.

Враховуючи, що елементи системи ВАДС взаємопов'язані і її надійність визначається усіма складовими, можна розуміти надійність водія по іншому. При цьому використовують однаковий підхід до оцінки надійності водія і автомобіля. Відомостей про надійність водія накопичено менше, ніж про надійність автомобіля. Виходячи з цього надійність водія – це властивість зберігати параметри функціонування в межах, що забезпечують безпеку дорожнього руху, відповідних режимів руху і умов використання автомобіля. Надійність водія – складна властивість, що визначається більш простими: безвідмовністю, відновлюваністю, збереженістю, довговічністю.

Безвідмовність водія – це властивість зберігати працездатність у межах встановлених норм робочого часу (робочого дня), що обчислюється в годинах. Безвідмовність водія змінюється протягом робочого дня різним чином.

З точки зору психофізіологічної оцінки стану водіїв перших 1,5–2,5 години роботи відбувається «вхід в працю», після якої настає період найвищої працездатності. В період такого входження ймовірність безвідмовної роботи водія дещо знижена. Водії можуть неправильно оцінювати рівень своєї працездатності, дії інших учасників дорожнього руху, здійснювати ризиковані маневри тощо. Перші ознаки зниження працездатності з'являються через 4–5 годин і, поступово наростаючи, стають значними після 6–8 год роботи. Компенсаторні механізми організму можуть підтримувати певний рівень працездатності до 9–10 годин роботи, після цього вони вичерпуються і відбувається швидке зниження працездатності до недопустимого з точки зору безпеки руху рівня, з'являється сонливість.

Непрямі наслідки зміни безвідмовності роботи водія протягом робочого дня можна побачити за статистикою ДТП. Після 7-12 годин управління автомобілем внаслідок засинання водії створюють ДТП приблизно в 2 рази частіше, ніж при тривалості роботи до 7 годин. При перебуванні за кермом понад 12 годин число ДТП в цьому випадку збільшується в 9 разів.

Відновлюваність – це властивість водія відновлювати свою працездатність після певних перерв у діяльності. Відновлюваність має велике значення для забезпечення надійної роботи професійних водіїв.

Якщо тривалість перебування водія за кермом понад 10 годин, фактичні витрати часу можуть перевищувати 1 годин. Якщо до цього додати час на щоденне обслуговування автомобіля, врахувати час на дорогу до роботи, на сон і відпочинок водія може залишитися зовсім мало часу.

Неповноцінний відпочинок позначається на рівні безвідмовності водіїв у наступний день: майже у половини з них відзначається поява сонливості; водії, що сплять перед зміною менше 6 годин, відзначають зниження уваги до кінця зміни в 2,5 рази частіше, ніж при тривалості сну 8 годин.

Відновлюваність працездатності водія (за інших рівних умов) в різні дні тижня неоднакова: при роботі в одну зміну в перші дні тижня вона менша (відбувається «вхід у працю»). Неповноцінний відпочинок в третій день тижня викликає небезпечне зниження працездатності на наступний день до кінця робочої зміни.

Професійна довговічність – властивість водія зберігати працездатність до настання граничного стану (вихід на пенсію, перехід на іншу роботу) з необхідними перервами, обумовленими умовами відпочинку, трудової діяльності. Момент настання граничного стану, тобто величину професійної довговічності часто встановлює сам водій. Якщо він вважає, що воно настало, то припиняє роботу і змінює професію, іноді задовго до пенсійного віку.

Оскільки професійну довговічність водія визначають не тільки за віком, але також за організацією і умовами водійського праці, вона може бути різною на різних автотранспортних підприємствах (АТП).

Важливо, що характеристика професійної довговічності водіїв, дозволяє оцінити резерви, які є на даному конкретному АТП: щодо забезпечення транспортного процесу водійськими кадрами.

Висока довговічність водіїв на АТП має забезпечуватися відповідними умовами їх професійної діяльності, в іншому випадку може зростати аварійність. Дослідження показують, що число ДТП у водіїв віком 50–59 років в 2 рази вище, ніж у водіїв до 24 років. Такий результат свідчить про те, що водії старшого віку, маючи в більшості випадків більш високий клас професійної підготовки, завантажені більш інтенсивно.

Збереженість – властивість водія зберігати параметри функціонування після тривалих перерв у трудовій діяльності. Цілісність водійських якостей особливо важлива для власників індивідуальних автомобілів, що мають в середньому малі (до 10–12 тис. км) середньорічні пробіги і значні перерви у водінні.

Перерви трудової діяльності, зумовлені хворобами, спостерігаються у водіїв усіх категорій. Встановлено, що середня тривалість втрати працездатності водіїв становить 11 днів.

Після тривалих з тих чи інших причин перерв у водінні відбувається непомітна для водія втрата професійних навичок в управлінні.

Оцінка надійності водія повинна враховувати такі чинники:

- довготривала витривалість – збереження людиною працездатності на заданому рівні протягом певного часу;
- стійкість до впливу факторів середовища (температура, вологість, тиск, шум, прискорення) пов'язаних зі станом нервової системи;
- працездатність в екстремальних умовах, тобто здатність приймати правильні рішення при дефіциті часу, в аварійних ситуаціях тощо;
- завадостійкість – працездатність людини в умовах шумів, сторонньої мови, руху сторонніх предметів у полі зору, яка підвищується набуттям досвіду роботи, шляхом тренувань, поліпшення умов праці;
- спонтанна абстрактність – відволікання уваги в результаті внутрішніх спонтанних коливань уваги, в першу чергу, при тривалому пасивному спостереженні;
- переключення – час «входження» в нову діяльність.

Надійність водія характеризується також безпомилковістю, готовністю і своєчасністю дій.

Основним показником безпомилковості є ймовірність безпомилкової роботи, яку можна обчислювати як на рівні окремої операції, так і на рівні алгоритму роботи в цілому.

Для типових часто повторюваних операцій (як показника безпомилковості) можна використовувати також інтенсивність помилок (ймовірність безпомилкового виконання операцій). Цей показник визначають, як правило, з розрахунку на одну виконану операцію (алгоритм), враховуючи інтенсивність помилок, допущених при виконанні операцій, загальне число виконаних операцій і допущену при цьому кількість помилок та середній час виконання операцій.

Важливим показником надійності є коефіцієнт готовності, що представляє собою ймовірність включення людини-оператора до роботи в будь-який момент часу. При цьому враховується час, протягом якого людина-оператор з тих чи інших причин не може прийняти інформацію, що надійшла до неї, загальний час роботи.

Як показник відновлюваності використовують ймовірність випралення оператором допущеної помилки. Для цього треба знати ймовірність видачі сигналу схемою контролю, ймовірність виявлення оператором цього сигналу, та

ймовірність виправлення помилкових дій при повторному виконанні алгоритму. Цей показник дозволяє оцінити можливість самоконтролю оператором своїх дій і виправлення допущених ним помилок.

Надійність виконання оператором своїх функцій поділяється на:

- психологічну, тобто надійність по відношенню до нестійких відмов (помилки), що пов'язані з неправильним або несвоєчасним виконанням окремих дій;
- фізіологічну, надійність по відношенню до тимчасових стійких відмов через дефіцит часу або внаслідок розвитку втоми, травми, стресу тощо;
- демографічну, надійність по відношенню до остаточних відмов (старіння, травма з інвалідністю тощо).

Рекомендується надійність оператора розглядати разом з індивідуальними характеристиками оператора. З робочих характеристик виділяють ті, в основі яких лежать вроджені властивості нервової системи оператора: довготривалу витривалість, витривалість під час екстреної напруги, перешкодостійкість, переключення тощо.

Психологічне вивчення структури діяльності людей дозволяє виділити кілька режимів діяльності оператора, показники надійності яких істотно відрізняються. В якості основних розглядають оптимальний і екстремальний режими. Градацію режимів наводять за показниками діяльності операторів, у зв'язку з чим обговорюються питання надійності операторів. Ряд дослідників відзначають великий вплив вольових властивостей особистості на показники надійності, вони вважають, що в екстремальних умовах діяльність оператора характеризується виборчим перерозподілом функціональних можливостей. При цьому основну діяльність він виконує з максимальною ефективністю, а інші – з поступовим зниженням результатів, внаслідок виснаження психофізіологічних ресурсів.

В ряді робіт з цього питання відзначається, що незалежно від ступеня емоційної стійкості оператор у всіх випадках змінює свою тактику стосовно величини і характеру відхилень в отриманих результатах. Проте, на етапах навчання і входу в працю збільшення повноти інформації про якість виконуваної діяльності не завжди позитивно відбивається на формуванні необхідних навичок. Це зумовлено двома категоріями інформації в потоці, що надходить каналами зворотного зв'язку:

- інформація, яка не призводить до дезадаптації діяльності;
- інформація, облік якої підвищує дезадаптацію оператора.

Другий тип характерний для випадків, коли сенсомоторні навички оператора недостатньо розвинені, а зворотній зв'язок призводить до підвищення активації відповідних нервових центрів.

Існує комплексний підхід до забезпечення високої надійності водіїв –. Він включає два види впливів на водія: безпосередні та непрямі, тобто через елементи ВАДС. Виникає комплекс різних заходів, не тільки технічних, але також соціальних, організаційно-виховних, економічних, правових, медичних тощо.

При високому рівні автомобілізації, коли кількість населення, бере участь у водінні досягає 70–80 %, професійний відбір, в його звичайному розумінні, може бути використаний для нечисленних груп водіїв (наприклад, спеціальних або спортивних автомобілів). Для решти водіїв практика підказала видозмінену форму професійного відбору, реалізовану в діючій системі кваліфікаційної оцінки водіїв: водій навчається і спеціалізується на тому типі автомобілів, на якому йому доведеться працювати.

До заходів непрямого впливу на надійність водіїв за міжелементними зв'язками у системі ВАДС, пов'язаними з автомобілем, можна віднести:

- скорочення числа водіїв, збільшення вантажопідйомності автомобілів, використання автопоїздів;
- зміна структури робочого дня (тривалості фактичного перебування за кермом);
- зменшення навантажень використанням ергономічно сприятливими органами управління і приладами;
- скорочення трудомісткості робіт щодо підтримки працездатності автомобіля;
- створенням сприятливого мікроклімату для водія;
- створенням високого рівня активної і пасивної безпеки автомобіля.

Активна безпека забезпечується, насамперед, належними параметрами стійкості і керованості автомобіля, відповідністю динамічних властивостей автомобіля можливостям водія, надійністю та ефективністю цих властивостей.

Пасивна безпека має забезпечувати виключення або зниження наслідків ДТП для водія і пасажирів за рахунок різних засобів: захисних властивостей кузова, енергопоглинаючої рульової колонки, ременями та подушками безпеки тощо.

Істотний вплив на надійність водія надають соціально-гігієнічні заходи, режим роботи водія. Робочий день водія може плануватися по-різному, змінюючись в широких межах (7...12 год). При цьому треба уникати порушення режиму харчування, відпочинку.

Важливим фактором безпосереднього впливу на безпеку водія є також удосконалення методів навчання, підвищення їх професійної майстерності, заходи матеріального стимулювання, контроль фізичного стану, а також адміністративно-юридичні заходи, які застосовують до порушників.

3.3. Безпека та стабільність міської логістики 3.3. Security and stability of urban logistics

Форми втоми і механізм її виникнення.

Втома може бути причиною ДТП і (або) умовою, за якої водій може допустити помилки в управлінні автомобілем. Втома – тимчасове зниження працездатності, яка настає в результаті діяльності людини. Встановлено, що головна роль у розвитку втоми належить нервовій системі та головному мозоку, який втомлюється значно раніше, ніж м'язи.

Особливо швидко виснажуються нервові центри, в яких при цьому розвивається гальмування. Центральна нервова система допомагає боротися з втомою. Збудження нервової системи відбувається також і за позитивних емоцій. Тому в момент емоційного піднесення підвищується працездатність і продуктивність праці. За негативних емоцій стомлення розвивається швидше, працездатність знижується. Перевага негативних емоцій у діяльності водія сприяє його стомленню.

Продуктивність праці на початку стомлення деякий час може не знижуватися, якщо вольовим зусиллям людина змушує себе працювати з тими ж кількісними та якісними показниками. В стані втоми водій може уникнути помилок за рахунок підвищення інтенсивності уваги і готовності до дій. Але в цьому випадку від нього буде вимагатися велике вольове зусилля і підвищена витрата енергії. Підвищення енерговитрат сприяє зростанню втоми і в результаті настає момент коли все одно виникають помилки, пропуски необхідних дій, зниження продуктивності праці.

Зазначають наступні ознаки втоми:

- нездатність утримувати увагу;
- розлад координації рухів;
- розлад старих навичок та нездатність до засвоєння нових;
- зниження творчої активності.

Стомленню передуює відчуття втоми. Фізіологічна сутність втоми полягає в сигналізації організму про необхідність припинити роботу або знизити її інтенсивність, щоб уникнути розладу функцій нервових клітин. Але не завжди

відчуття втоми відповідає ступеню стомлення. Людина в стані втоми може і не відчувати її під впливом емоційного збудження, небезпеки, інтересу до роботи, почуття обов'язку, відповідальності тощо. Саме з цієї причини водій у тривалому рейсі відчуває втому менше, ніж пасажир, що знаходиться поруч, хоча тривале керування призводить до більшого стомлення водія, ніж його пасажир.

Психічна діяльність водія пов'язана з надходженням інформації. Для нормального протікання психічних процесів необхідний оптимальний рівень інформаційного навантаження, надлишок або нестача інформації сприяє розвитку втоми.

При умовах, коли на дорозі немає інших учасників руху, при одноманітному ландшафті водій швидше відчує втому, ніж при керуванні в умовах інтенсивного міського руху. В монотонній обстановці, при нестачі інформації або вимушеної бездіяльності почуття втоми може виникнути швидше, ніж при активній роботі, хоча об'єктивних ознак втоми при цьому може і не бути.

Втома, що розвивається під час роботи і є нормальним станом організму, проходить після однократного відпочинку. Якщо ж почуття втоми після відпочинку (нічного сну) не проходить, це свідчить про початок стану перевтоми, що виникає як хронічний наслідок навантаження, коли стомлення від попереднього дня не проходить і накопичується. Якщо людина після напруженої роботи вдень систематично недосипає вночі, відчуття втоми у неї починає з'являтися вранці до початку роботи. Перевтома виникає і при нормальному нічному відпочинку, який може виявитися недостатнім, якщо робота за інтенсивністю та тривалістю перевищує психофізіологічні можливості людини. Перевтома нерідко розвивається у водіїв, які працюють щодня по 12 і більше годин. Вона проявляється у швидкій стомлюваності, дратівливості, сонливості вдень і поганому сні вночі, з'являється загальна слабкість, болі в районі серця, головні болі, погіршується апетит.

При появі ознак перевтоми слід звернутися до лікаря, тому що продовження роботи призведе до виснаження нервової системи і може бути причиною неврозу, лікування якого вимагає більшого часу, ніж лікування перевтоми.

Працездатність людини в процесі його трудової діяльності не є постійною, вона має чітко виражену фазність протягом робочого дня. Рівень працездатності у другій половині робочого дня трохи нижчий, але співвідношення фаз повторюється. Тільки фази входу до праці і стійкості працездатності стають коротшими, а третя фаза, що характеризується зниженням працездатності, настає раніше.

Дослідженнями встановлено, що характерним для праці водіїв є трудність входження в процес роботи і затягнення періоду «входу до праці». Це особливо

помітно у водіїв автобусів, які працюють у ранкову зміну, та водіїв автомобілів великої вантажопідйомності. В період «входу до праці» водії можуть неправильно оцінювати рівень своєї працездатності, здійснювати ризиковані маневри.

Встановлено, що функціональний стан водія і його працездатність поліпшуються на 2-й і 4-й день роботи після вихідного дня і починає погіршуватися з 5-го дня щоденної роботи. Найбільш висока працездатність відзначається на 3-й день роботи (у середу), найнижча – в суботу при роботі з одним вихідним днем на тиждень.

Залежно від характеру роботи розрізняють стомлення:

- фізичне;
- розумове;
- емоційне.

Стомлення, що виникає у водія автомобіля, слід вважати комбінованим, оскільки в його роботі поєднуються елементи фізичної праці, елементи інтенсивної розумової діяльності та велике емоційне напруження. При цьому емоційне напруження домінує і є основним чинником, що визначає розвиток стомлення водія.

Велике нервово-емоційне напруження водія обумовлене постійною готовністю реагувати на зміни дорожньої обстановки. Він має бути готовим виконати дії, що виключають можливість ДТП. В деякі періоди роботи водій змушений виконувати дії з управління автомобілем в швидкому темпі, близькому до межі його психофізіологічних можливостей, що сприяє розвитку втоми.

Додатковими причинами емоційної напруги водіїв є:

- швидкість руху, що не відповідає швидкості потоку транспортних засобів;
- почуття відповідальності за збереження вантажу
- безпека пасажирів і власна безпека;
- нерівномірність надходження інформації, яка коливається від повної відсутності значимих подразників до десятка їх за хвилину;
- часте прийняття дуже відповідальних рішень.

Стомленню сприяють:

- незручне сидіння;
- низька температура повітря, часті перепади температури в кабіні автомобіля, погана видимість;
- часті зміни освітленості і недостатня освітленість дороги в темний час доби;
- шум, вібрація, попадання в кабіну парів бензину або відпрацьованих газів.

Під впливом стомлення знижуються інтенсивність уваги, його стійкість, розподіл і переключення, швидкість і точність сприйняття дорожньої обстановки, знижується гострота зору і зменшується поле зору, частішає пульс і підвищується кров'яний тиск, збільшується час реакції, порушується координація рухів, знижується ступінь автоматизації вироблених навичок. У стані втоми втрачається відчуття швидкості, порушується глибина і динамічність зору, виникає апатія, млявість, притупляється готовність до дій при несподіваній зміні дорожньої обстановки.

Швидке настання втоми спричиняють транспортні затори. Кожне перебування водія в транспортному заторі призводить до зростання його емоційної напруги і, відповідно, до зростання часу реакції. Перебування в другому або в наступних заторах призводить до подальшого зростання психоемоційного напруження і збільшення часу реакції. Відомо, що під час перебування у другому транспортному заторі у водіїв збільшується час реакції в порівнянні з першим у середньому від 0,1 до 0,5 с.

Необхідно зазначити, що час реакції водія складається з моторного та латентного періодів. Латентний період – це час від початку появи подразника до моменту реагування на нього. Моторний період – це час виконання відповідної дії. З точки зору роботи водія важливе значення має латентний період. Його тривалість залежить від складності дорожньої обстановки, досвіду водія, його стану та індивідуально-психологічних особливостей. Складна реакція вимагає значно більше часу, ніж проста. Час реакції залежить від уваги водія, раптова поява небезпеки значно збільшує час реакції. Якщо водій має час для підготовки до виконання маневру, час реакції вважається рівним 0,75 с, а при несподіваній появі перешкоди – 1,5 с.

Характерним симптомом втоми і перевтоми є розлади сну: сонливість вдень і безсоння вночі. Сонливість і засинання водія за кермом – найбільш небезпечні прояви втоми, які нерідко призводять до ДТП. Наприклад, в США 3,8 % водіїв, що стали учасниками ДТП зі смертельним результатом, в момент події спали або були в стані вираженого стомлення.

Від 1,7 % до 2,4 % ДТП відбуваються від того, що водії засинали на прямолінійних ділянках дороги. Іноді під впливом монотонного руху у водіїв виникає стан, що характеризується апатією, млявістю, появою абстрактних думок і уявлень, що не мають ніякого відношення до керування автомобілем. Воно називається «загальмованим станом», «ступором» або «дорожнім гіпнозом». Загальмований стан при керуванні автомобілем може наступити внаслідок

нервового виснаження, стомлення від тривалої їзди, а також через стомлення перед поїздкою.

Правилами дорожнього руху водієві заборонено керувати транспортним засобом за такого ступеня втоми, що може вплинути на безпеку руху. Однак водієві важко самому визначити ступінь втоми, за якої не слід керувати автомобілем, тому що ступінь прояву втоми і втома можуть не збігатися. Іноді водій не відчуває втоми і стомлення може проявитися раптово в різкому зниженні працездатності або в сонливості за кермом.

Звичайно, втома як суб'єктивне переживання може допомогти водієві оцінити свою працездатність, але постійним критерієм в оцінці працездатності тільки ступінь втоми не може бути. Крім почуття втоми ознакою наступаючої втоми може служити поява незначних помилкових дій, бажання випрямитися, змінити позу, помітне зниження інтенсивності і стійкості уваги, мимовільне відволікання від думок, що не пов'язані з керуванням автомобілем, все більше вольове зусилля, що необхідне для подолання цих негативних явищ. Разом з тим перші ознаки втоми, що з'явилися після декількох годин роботи за кермом, безпечні для водія і легко усуваються короткочасним відпочинком.

Найкращим способом боротьби з втомою і перевтомленням є раціональний режим праці і відпочинку з дотриманням гігієнічних норм, тобто така організація трудової діяльності, яка забезпечує протягом повної робочої зміни (добы, тижня, місяця, року тощо) збереження їх здоров'я та працездатності.

Графік роботи водія протягом однієї зміни необхідно складати з урахуванням навантаження і особливостей виконуваної роботи: маршруту, часу перебування за кермом, можливості короткочасних перерв протягом робочого дня, умов для харчування, повноцінного нічного відпочинку тощо. Для водіїв слід виходити з норми робочого часу 7 годин і повноцінного нічного відпочинку (сну) не менше 7 годин. Встановлено, якщо водій не отримає достатнього відпочинку перед роботою, то навіть скорочення робочого часу не позбавить його від швидкого розвитку втоми. При збільшенні робочого часу для відновлення працездатності необхідний більш тривалий відпочинок. Відомо, якщо робочий день триває 12 годин, з яких 10 водій перебуває за кермом, нічний сон має бути не менше 10 годин, а наступний робочий день не більше 7 годин. Тому тривалість робочої зміни понад 10...12 годин мають бути виключно у виняткових випадках (міжміські перевезення, екскурсійні маршрути тощо). Відряджати в дальній рейс на автобусі двох водіїв доцільно лише при наявності лежачого автомобілі спального місця для відпочинку водіїв.

Важливо раціональне чергування праці і відпочинку водія і протягом робочого дня. При русі, що триває більше 3...5 годин, водієві слід надавати щогодини 5-хвилинну перерву, а після 4 годин роботи – більш тривалу перерву з можливістю випити солодкий чай, каву. На міжміських перевезеннях після трьох годин безперервної поїздки слід зробити зупинку для відпочинку тривалістю 10 хвилин, надалі зупинку такою тривалістю передбачають через кожні 2 години.

Одним із заходів підвищення працездатності водіїв є усунення факторів, що сприяють швидкому розвитку втоми: неправильна посадка, висока або низька температура повітря в кабіні, попадання в кабіну відпрацьованих газів, додатковий шум і вібрація, бруд на склі тощо.

Велике значення для збереження працездатності водіїв має раціональне проектування доріг з урахуванням людського фактора. Одноманітні, прямі ділянки дороги сприяють виникненню загальмованого стану. Водієві не слід тривалий час нерухомо дивитися перед собою, фіксуючи погляд на одній точці. Наприклад, відбиття сонячних променів від автомобіля, що йде попереду, нерідко тривалий час привертають погляд водія, що викликає, так званий, дорожній гіпноз.

До найважливіших заходів комплексного вирішення питань щодо запобігання ДТП, пов'язаних зі зниженням працездатності водіїв у результаті їх втоми і перевтоми відносяться: правильна організація режиму праці, створення умов для своєчасного та повноцінного відпочинку та харчування в дорозі, вдосконалення доріг та організація дорожнього руху.

Вимоги до робочого місця водія.

Робоче місце водія характеризується взаємопов'язаними факторами:

- розмірами кабіни;
- оглядовістю;
- зручністю доступу до органів управління;
- положенням сидіння і розташуванням по відношенню до нього органів управління;
- інформативністю контрольних вимірювальних приладів;
- особливостями середовища в кабіні (мікроклімат, освітленість, шум, вібрація тощо).

Раціональна організація робочого місця – це обладнання, устаткування та планування робочого місця у відповідності з антропометричними вимогами і психофізіологічними можливостями людини. Її дотримання забезпечує швидкість і

точність керуючих дій, підвищує працездатність водія, покращує безпеку дорожнього руху.

Багато факторів, що покращують умови роботи і полегшують працю водіїв, забезпечується конструкцією сучасних автомобілів. Керування автомобілем не потребує великих м'язових зусиль, а дії, що вимагають підвищених зусиль, полегшуються гідравлічними або пневматичними підсилювачами.

Позитивний вплив на роботу водія надає правильна його посадка, яка визначається як «спокійне положення в стані готовності». Основною вимогою до конструкції сидіння є забезпечення положення тіла водія, що виключає зайве м'язове напруження, забезпечує максимальну взаємодію з частинами тіла водія, сприяє найкращій оглядовості. Цього досягають використанням анатомічних сидінь, що автоматично пристосовуються к формі тіла водія, оптимальною для кожного водія висотою сидіння, його відстанню від педалей та рульової колонки, положенням спинки, близьким до вертикального з відхиленням назад.

При правильній посадці водій сидить прямо, його спина повністю прилягає до спинки сидіння, ноги легко дістають до педалей, а руки, що лежать на кермі, злегка зігнуті в ліктях. При такій посадці водій не стомлюється навіть при тривалому русі і витрачає мінімальні зусилля при роботі рульовим колесом, педалями і важелями управління. Якщо спинка сидіння не забезпечує достатньої опори тіла у зоні попереку, то основні м'язи спини і шиї будуть надмірно напружені. Частина інформації про переміщення автомобіля в просторі вестибулярний апарат (аналізатор, що здійснює функцію рівноваги тіла в стані спокою і під час руху) водія отримує через взаємодію його тіла з сидінням, тому важливо, щоб водій спирався на сидіння, але без зайвих додаткових зусиль.

При значній відстані спинки сидіння від рульового колеса основне навантаження в роботі рук припадає на відносно слабкі м'язи кисті та передпліччя, а найбільш потужні м'язи плеча і плечового пояса використовуються недостатньо. При дуже високому сидінні може знижуватися оглядовість, але при цьому водій краще бачить передній звіс автомобіля, його менше засліплюють фари зустрічних транспортних засобів (в верхній частині лобового скла є затемнення). При низькому положенні сидіння водій має піднімати голову, напружувати м'язи шиї та спини, щоб стежити за дорогою, що теж призводить до стомлення. Треба виключити такі положення сидіння, при яких водій вимушений горбиться, нахилити голову, що викликає втому м'язів шиї, плечового пояса і стомлює зір. Також водій відчуває незручності і при сильно висунутому вперед сидінні. Йому доводиться сильно згинати ноги, що ускладнює дію на педалі. Зайве збільшення відстані до педалей

ускладнює рух ніг водія. М'язове зусилля при натисканні на педаль залежить також від кута нахилу спинки сидіння, його висоти і відстані до педалей.

Правильним підбиранням кута нахилу спинки сидіння зусилля, прикладені до педалей, можуть бути знижені ні 15...20 %. Відстань від краю сидіння до згину в колінах має бути не менше 15 % довжини стегна. При зменшенні цієї відстані можливі порушення функцій нижніх кінцівок унаслідок здавлювання судин і нервів у зоні стегна.

Нахил спинки сидіння для водіїв вантажних автомобілів має бути в межах $97 \pm 2^\circ$, для автобусів – $95...107^\circ$, а для легкових автомобілів – $98...105^\circ$. При цьому обов'язково треба враховувати індивідуальні особливості водія.

Сидіння обладнується пружними подушкою і спинкою. Таз водія повинен мати деяку свободу для зміни положення тіла. Неправильне співвідношення між розмірами деталей сидіння і невідповідність цих розмірів антропометричним даним водія викликає з його боку прагнення прийняти зручне для роботи положення, що відволікає від керування автомобілем і сприяє більш швидкому стомленню. Тому більш сучасними є анатомічні сидіння, які в контрольних точках вимірюють силу, з якою водій діє на сидіння, та за допомогою повітряних порожнин і насосів прилаштовуються під особливості тіла водія, збільшуючи площу взаємодії.

Певне значення має навіть оббивка сидіння. Якщо вона гладка, можливо ковзання, що вимагає додаткових зусиль, щоб утриматися в зручному положенні. Оббивка з дуже великим коефіцієнтом зчеплення вимагає великих зусиль при переміщенні на сидінні, що втомлює м'язи спини. Матеріал також повинен підбиратися таким чином, щоб виключити потіння в місцях стикання з тілом водія.

Важливе значення для діяльності водія має відстань між сидінням і органами управління. Залежно від цієї відстані змінюються зусилля, які водій має докладати до рульового колеса, важелів і педалей. Враховуючи, що розміри частин тіла у людей коливаються в широких межах, необхідно забезпечити водієві можливість регулювати відстань від сидіння до органів управління. Для цього подушку і спинку сидіння роблять регульованими як по висоті, так і в поздовжньому напрямку. В сучасних автомобілях сидіння мають пристрої, за допомогою яких можна регулювати сидіння і під час руху автомобіля.

Таким чином, основними показниками, за якими визначається ступінь відповідності сидіння вимогам інженерної психології, є:

- просторове положення сидіння щодо органів управління;
- довжина, ширина і глибина подушки, висота спинки;
- кут нахилу спинки, висота і нахил подушки по відношенню до підлоги кабіни.

Все перелічене дає можливість забезпечити:

- свободу зміни положень частин тіла (залежить від ширини подушки сидіння);
- вільність рухів у колінних суглобах (залежить від глибини сидіння);
- положення очей відносно вікон і дзеркал, а отже, і оглядовість (залежить не тільки від висоти, а від сукупності регулювань);
- зручну посадку, що виключає сповзання з сидіння (залежить від кута нахилу спинки та інших регулювань);
- достатню опору тулуба (залежить від висоти спинки);
- врятування шийних хребців від травм (залежить від опори для голови).

Однією з важливих характеристик робочого місця водія є оглядовість, (об'єктивна можливість бачити дорожню обстановку). Оглядовість повинна бути забезпеченою з усіх боків, що залежить від розмірів і конфігурації лобового та бокових стекол кабіни і дзеркал заднього виду. На оглядовість з кабіни водія впливає і чистота скла. Для збільшення оглядовості при управлінні автомобілем використовують панорамні дзеркала заднього виду, які збільшують її до 350°.

Яскравий інтер'єр кабіни автомобіля відволікає увагу водія від дороги і приладів. Прилади, навпаки, мають виділятися на загальному темному тлі передньої панелі автомобіля. Дотримання вимог інженерної психології при конструюванні робочого місця водія полегшує працю водія, підвищує його працездатність і надійність.

Велике значення для самопочуття водія та його працездатності має мікроклімат кабіни. Мікроклімат кабіни – це сукупність температури, вологості та швидкості руху повітря. Температура повітря в кабіні залежить від температури повітря ззовні, ступеня нагріву двигуна, теплоізоляції, системи опалення та вентиляції. Вона повинна бути в межах 15...25 °С. Найбільш сприятлива температура 18...20 °С, але для кожної людини вона індивідуальна. В літню пору року температура повітря в кабінах автомобілів перевищує температуру зовнішнього повітря на 4...12°. Температура в кабінах вантажних автомобілів може досягати 50–60°. Тому, встановлення систем контролю мікроклімату в кабіні (салоні) автомобіля є безумовною вимогою для сучасних автомобілів.

Відхилення температури від комфортних значень погіршує самопочуття водія, знижує його працездатність та надійність. При високій температурі порушуються функції мислення, уваги, пам'яті, погіршується реакція, зменшується точність сенсомоторики. В результаті водій несвоєчасно реагує на зміну дорожньої обстановки та запізнюється з виконанням необхідних керуючих дій, допускає помилки, швидше втомлюється. Зниження швидкості й точності реакцій руху при

зниженій температурі виникає внаслідок погіршення роботи м'язів. Це виражається у скутості та неточності рухів. Робота в теплому одязі обмежує рухи, широке та важке взуття утрудняє дії на педалі, погано відчувається їх опір при натисканні. Таким чином, при низьких і високих температурах в кабіні автомобіля знижується працездатність водіїв, порушується точність і своєчасність їх керуючих дій, частіше виникають помилки, погіршується безпека перевезень.

Однієї з причин підвищення температури в автомобілях є нагрівання обшивки. В цих випадках основними засобами поліпшення мікроклімату є теплова ізоляція бічних стінок і даху, а також їх фарбування в світлі кольори, використання вентиляції, застосовування ізоляції двигуна, кондиціонування повітря (регулювання температури, вологості та швидкості руху повітря).

Система вентиляції має забезпечувати необхідний гігієнічний мікроклімат салону, очищення повітря кабіни. Однак головним заходом попередження потрапляння шкідливих домішок у повітря кабіни (салону), є її герметичність.

Кабіни автомобілів, що призначені для роботи в умовах низьких температур, повинні мати термоізоляційні стінки, подвійне скління з електрообігрівом та обдувом. Отвори для трубок, важелів, педалей і двері ущільнюються морозостійкими матеріалами. Опалення здійснюється автономним нагрівачем підвищеної потужності, всередині кабіна (салон) не повинні мати металевих поверхонь, зворотний бік яких стикається з холодним повітрям.

Вологість повітря (визначається вмістом в ньому водяної пари) має великий вплив на теплорегуляцію організму і стан водія.

Розрізняють абсолютну вологість (вміст пари в повітрі при певній температурі), максимальну вологість (гранично можливий вміст водяної пари в повітрі при певній температурі) і відносну вологість (відношення абсолютної вологості до максимальної у відсотках).

Велика відносна вологість повітря при високій температурі може бути причиною перегріву організму людини. Особливо несприятливий вплив має відносна вологість більше 70...75 % при температурі повітря близько +30 °С. В повітрі, насиченому водяними парами, тепловіддача шляхом випаровування неможлива або обмежена, оскільки піт людини не випаровується, а стікає по шкірі та не дає охолоджуючого ефекту. Висока вологість повітря шкідливо діє на людину при низькій температурі повітря внаслідок підвищеної тепловіддачі з поверхні тіла. Нормальна відносна вологість повітря для більшості людей повинна підтримуватися в межах 30...70 %.

Важливе значення для теплорегуляції організму має і рух повітря. Людина починає відчувати повітряні потоки при швидкості їх руху 0,25 м/с. Різкий рух холодного повітря значно збільшує тепловіддачу з поверхні тіла, що може викликати переохолодження організму.

Таким чином, для визначення оптимального мікроклімату для роботи водія необхідно враховувати співвідношення температури, вологості та руху повітря в кабіні (салоні) автомобіля. Оптимальні мікрокліматичні параметри у для пасажирів мають забезпечуватися незалежно від кількості людей, погодних умов, географічних широт, пори року тощо. Дуже важливо, щоб система опалення кабін забезпечувала температуру не нижче +15 °С, а система вентиляції – перепад температур між кабіною і зовнішнім повітрям 3...5 °С.

Погано відфільтроване повітря кабін (салону) автомобіля може містити пари бензину й шкідливі домішки відпрацьованих газів, які мають велику кількість шкідливих для людини компонентів, серед яких найбільш небезпечним є окис вуглецю, або чадний газ. Можливість отруєння повітря відпрацьованими газами двигунів автомобіля попереджається установкою гумових ущільнень, що закривають отвори у підлозі, підвищенням ефективності систем опалення та вентиляції кабін. При цьому вентиляцію необхідно використовувати навіть при низькій температурі зовнішнього повітря.

При недотриманні вказаних вимог можливі випадки отруєння. Гостре отруєння може настати при вдиханні повітря, що містить пари бензину в концентрації 5...10 мг/л. Хронічне отруєння, що настає при тривалій дії на організм малих концентрацій. Воно проявляється в підвищеній дратівливості, запамороченні, ослабленні серцевої діяльності. Гранично допустимий вміст у повітрі парів бензину – 0,3 мг/л. Щоб виключити можливість отруєння водія парами бензину, слід систематично перевіряти справність системи живлення двигуна.

Вплив зовнішнього середовища на стан водія.

Зовнішнє середовище впливає на надійність роботи водія. Вплив відбувається через температуру, тиск і вологість навколишнього повітря, освітленість робочого місця, шум, вібрації тощо. Кожен з цих факторів впливає на один або кілька аналізаторів людини (слуховий, зоровий, вестибулярний тощо) і через них - на організм у цілому.

До основних чинників, що створюють дискомфортні умови і негативно впливають на працездатність людини, можна віднести підвищену або знижену

температуру повітря, енергію випромінювання іноді в поєднанні з високою вологістю та інтенсивним рухом повітря. Патогенетичним механізмом, що визначає всю картину зміни стану людини при зазначених дискомфортних умовах, є зміна теплообміну і охолодження або перегрівання організму, які виникають у зв'язку з цим.

Для більшості людей комфортними вважаються умови при температурі навколишнього середовища приблизно 20...22 °С, вологості в межах 30...60 % і швидкості руху повітря не більше 0,2 м/с. Температура повітря в площині ступні ніг і на рівні голови не мусить відрізнятися більш ніж на 5 °С, а максимальна температура на робочому місці не має перевищувати 29 °С.

Автомобіль є одним з найбільш потужних джерел забруднення навколишнього середовища небезпечними речовинами відпрацьованих газів.

Рівень забруднення атмосферного повітря залежить від якісного та кількісного складу відпрацьованих газів, типу двигуна, його технічного стану, потужності, режиму роботи, виду палива.

Монооксид вуглецю (СО) – безбарвний газ, який не має запаху, важчий за повітря. Монооксид вуглецю в організмі людини вступає в реакцію з гемоглобіном крові, заміняє в ньому кисень і утворює карбоксигемоглобін, в результаті його дії настає внутрішня задуха.

Особливо небезпека отруєння СО при роботі двигуна в закритих приміщеннях, під час сну або тривалого відпочинку в кабіні автомобіля з працюючим двигуном.

При легкому отруєнні виникає слабкість, головний біль, потемніння в очах, зниження слуху, запаморочення. Надалі розвивається стан збудження, що нагадує алкогольне сп'яніння. У важких випадках спостерігається сонливість, затьмарення свідомості, нудота і блювота.

Оксиди азоту (NO_x) виходять у результаті термічної реакції окислення азоту повітря при високих температурах і тисках в циліндрах двигуна. Збільшенню викидів оксидів азоту сприяють підвищення максимальної температури робочого циклу і надлишок кисню.

Раніше для підвищення октанового числа бензину застосовувався тетраетилсвинець. Один автомобіль викидав в атмосферу в середньому 1 кг свинцю в рік. Це відбувалося роками, тому зараз поблизу автомобільних доріг дуже велика концентрація свинцю. Він досі потрапляє в повітря та у водойми. Свинець не виводиться з організму людини і перебуваючи в ньому в підвищених концентраціях уражає всі органи і системи.

Ще однієї складової відпрацьованих газів є оксиди сірки, які є сильними окислювачами і руйнують метали, подразнюють шкіру, слизові поверхні.

Найбільш небезпечними з медичної точки зору є оксиди азоту. Оксиди азоту діють на слизові поверхні людини (очі, органи дихання) і є сильним подразником. Це пояснюється утворенням азотної й азотистої кислот при взаємодії цих газів з водою. Оксиди азоту відіграють основну роль в утворенні фотохімічного туману в атмосферному повітрі. Причиною утворення такого туману є хімічні реакції, що відбуваються в атмосфері. Діоксид азоту, що виділяється працюючим двигуном, під дією сонячних променів розпадається на оксид азоту та атомарний кисень, які, з'єднуючись з киснем повітря, знову утворюють діоксид азоту й озон. Озон, вступаючи в хімічну реакцію з неграничними вуглеводнями, утворює оксиданти, які подразнюють слизові оболонки та органи дихання людини, викликають симптоми задухи, загострюють легеневі і різні хронічні захворювання, призводять до смертельного результату.

Для комплексної оцінки шкідливого впливу будь-якої токсичної речовини на навколишнє середовище необхідно знати кількість цього компонента, що виділяється при згоранні палива. Але, сумарні викиди оксиду вуглецю приблизно в 20 разів перевищують викиди оксиду азоту. Тому багато досліджень з визначення концентрації токсичних речовин в повітрі населених пунктів підтверджують першочерговість зменшення саме оксиду вуглецю.

На сьогодні на частку автотранспорту у великих містах припадає 60...90 % викидів оксиду вуглецю. Тому поняття «забруднення навколишнього середовища автотранспортом» часто ототожнюється з поняттям «забруднення навколишнього середовища оксидом вуглецю».

Хронічні зміни функціонального стану людини відбуваються під впливом хімічних факторів. При їх постійному впливі можуть виникнути зміни в організмі, пов'язані з розладами нервової системи, появою суб'єктивних симптомів у вигляді болю, дратівливості, порушенні сну тощо. При такому стані неминуче зниження продуктивності праці, особливо в другу половину робочої зміни.

Значний вплив на працездатність людини надає шум, який може викликати функціональні зміни в організмі та професійні ураження органів слуху. Шкідливий вплив шуму істотно позначається на реакції людини, призводить до послаблення уваги.

Шум впливає на загальний психічний стан людини, викликає почуття, тривоги і невпевненості, призводить до стомлення, зниження працездатності, збільшення випадків травматизму тощо.

Шум – сукупність звуків. Звукова хвиля характеризується звуковим тиском, швидкістю поширення, інтенсивністю. Під звуковим тиском розуміють тиск, який додатково виникає при проходженні звукової хвилі в рідкому або газоподібному середовищі. Під інтенсивністю звукової хвилі розуміють енергію, що переноситься звуковою хвилею через одиничну перпендикулярну до напрямку поширення хвилі площину, за одиницю часу. Інтенсивність звуку залежить від амплітуди коливань, швидкості розповсюдження звукової хвилі та щільності середовища

Силу звуку оцінюють не в абсолютних, а у відносних логарифмічних одиницях (белах і децибелах). Вухом людини сприймає звуки, рівень сили яких розташований у межах 0...140 дБ над пороговим нульовим шумом, причому верхня межа відповідає порогу відчуття болю.

Транспортний шум особливо гостро сприймає міське населення. Розвиток активності суспільства в містах супроводжується збільшенням руху транспорту. Як наслідок, транспортний шум постійно зростає, впливаючи на сон, на професійну і приватну діяльність громадян, викликає в них майже постійну дратівливість і втоми. Шум негативно впливає на здоров'я міського населення: викликають захворювання серцево-судинної, центральної та нервової систем, шлункові захворювання, нервові розлади, головний біль, підвищення кров'яного тиску, збліднення шкіри, підвищення адреналіну в крові, м'язове напруження.

Під впливом шуму погіршується здатність до оцінки рельєфу і дистанції. Слабшає чутливість сутінкового зору, зменшується поле зору, погіршується сприйняття кольорів, зокрема червоного, може спостерігатися ілюзорне переміщення предметів у просторі. Подібні розлади зору виникають при рівні шуму більше 85–90 дБ. На думку вчених, рівень шуму в кабіні (салоні) автомобіля не повинен перевищувати 80 дБ.

Боротьба з шумом включає розробку заходів в архітектурі, містобудуванні, дорожньому будівництві, організації дорожнього руху, конструюванні автомобілів тощо. Їх можна розділити на заходи щодо зниження емісії шуму і заходи з обмеження його поширення.

Найбільш радикальним засобом зниження рівня транспортного шуму є створення безшумного автомобіля. Саме на це націлюють конструкторів вимоги щодо обмеження шуму і поступового зниження допустимого рівня шуму нових автомобілів. Однак цей шлях неминуче спричиняє подорожчання автомобіля.

Водій транспортного засобу може істотно впливати на рівень шуму автомобіля, що забезпечує (за можливістю) перехід на вищу передачу і робота двигуна на помірних обертах.

Для зменшення навантаження від шуму в містах необхідно скорочувати затримки в русі транспортних засобів за допомогою інтелектуальних систем управління рухом.

У випадках, коли спільно з шумом на людину діють інші несприятливі фактори, гранично допустимі рівні шуму мають бути нижче. У людей, що працюють в шумному середовищі з підвищеною температурою (або при напруженій увазі), частіше спостерігається розвиток гіпертонічної хвороби, pojawiaються розлади в точності рухів. Якщо одночасно з шумом діє вібрація, їх шкідливий вплив на організм людини посилюється. Вібрація з великою частотою і малою амплітудою чинить найбільш несприятливий вплив на людину, що супроводжується головними болями, втомою, напруженням зору. Під дією на організм загальної вібрації (вібрації робочих місць) дуже швидко настає сонливість і апатія, а в певних випадках можуть відбутися зміни в організмі людини, які називаються вібраційною хворобою. При поштовхах і трясці точність і координація рухових реакцій погіршуються. У професійній діяльності з'являються помилки неспецифічного характеру, обумовлені в основному помилками сприйняття та виконання робочих команд.

Вібрація обладнання на робочих місцях не мусить створювати загальної вібрації, інтенсивність якої перевищує 90...100 дБ на частотах 0...4 Гц і 95 дБ на частотах вище 4 Гц.

До числа несприятливих факторів зовнішнього середовища належать електромагнітні поля надвисоких частот, вплив яких на людину може викликати функціональні зміни в організмі: швидко стомлюваність, головні болі, дратівливість, порушення сну, стомлення зору тощо.

В умовах комплексного впливу факторів зовнішнього середовища їх вплив на якість діяльності людини зазвичай досліджують методами багатфакторних інженерно-психологічних експериментів. До таких методів можна зарахувати, наприклад, метод планування, проведення та обробки результатів експерименту з дослідження комплексного впливу факторів зовнішнього середовища на продуктивність людини-оператора в умовах неоднорідностей з урахуванням часового дрейфу.

Вплив ергономіки автомобіля на функціональний стан водія.

Стомлення, що виникає у водія автомобіля, слід вважати комбінованим, оскільки в його роботі елементи фізичної праці поєднуються з елементами

інтенсивної розумової діяльності та великим емоційним напруженням. Причому емоційне напруження домінує і є основним фактором, що визначає розвиток стомлення. Велике нервово-емоційне напруження водія обумовлено постійною готовністю реагувати на різні раптово виникаючі зміни дорожньої обстановки.

Додатковими причинами емоційної напруги водіїв є:

- швидкість руху, яка не відповідає швидкості потоку транспортних засобів;
- почуття відповідальності за збереження вантажу;
- безпека пасажирів і власна безпека;
- нерівномірність надходження інформації, яка коливається від повної відсутності значимих подразників до десятків одиниць за хвилину;
- часте прийняття дуже відповідальних рішень.

Стомленню сприяють незручне сидіння, низька температура повітря, часті перепади температури в кабіні автомобіля, погана видимість. На розвиток стомлення впливають часті зміни освітленості та недостатня освітленість дороги в темний час доби, шум, вібрація, попадання в кабіну парів бензину або відпрацьованих газів. Стомлення викликається зміною функціонального стану водія. Крім цього, ергономічні характеристики автомобіля впливають на зміну функціонального стану водія.

З метою оцінки впливу ергономічних характеристик автомобіля на функціональний стан водія були проведені експериментальні дослідження, які полягали у проїзді водія по одному і тому ж маршруту в ранковий період «пік» у різні дні на різних за класом автомобілях (порівнювалися автомобілі Skoda Superb 2008 випуску та автомобіль ВАЗ 2104 1988 року випуску). При цьому постійно знімалася електрокардіограма водія для оцінки його функціонального стану. Довжина маршруту була підібрана таким чином, щоб водій опинився у трьох різних транспортних заторах. При цьому для порівняння та аналізу були допущені ті випадки проїзду, при яких початкові значення показників активності регуляторних систем були однакові.

Результати показали, що функціональний стан водія при проїзді маршруту на автомобілі Skoda Superb значно кращий, ніж на автомобілі ВАЗ-2104. Різниця у зміні функціонального стану в кінці поїздки свідчить про те, що при поїзді маршруту на автомобілі з кращими ергономічними характеристиками, стомлення розвивається меншою мірою, а при перебуванні водія у транспортних заторах тип і клас автомобіля не впливає на його функціональний стан.

Заходи підвищення безпеки руху.

Забезпечення безпеки руху є найбільш важливою проблемою транспортних систем. Від правильного та своєчасного її вирішення залежать життя і здоров'я пасажирів, збереження матеріальних цінностей. Найбільша аварійність реєструється на автомобільному транспорті.

Дані статистики свідчать, що кількість людей, загиблих на 1 млрд пас.км на автомобільному транспорті, майже вдвічі більше, ніж на повітряному, і майже в чотирнадцять разів – на залізничному.

Посилення служб забезпечення безпеки руху, обмеження швидкості тощо обумовлюють деяке зниження відносної аварійності, зменшення тяжкості ДТП тощо. І все ж загальна кількість ДТП та осіб, постраждалих від них, залишається великою, а проблема підвищення безпеки руху зберігає свою актуальність.

Ефективне вирішення проблеми підвищення безпеки дорожнього руху потребує встановлення причин ДТП і розробки заходів щодо їх усунення. Види і причини ДТП встановлюються на підставі статистики аварійності. Усі ДТП поділяються на:

- зіткнення;
- перекидання транспортних засобів;
- наїзд на перешкоду;
- наїзд на пішохода;
- наїзд на велосипедиста;
- наїзд на гужовий транспорт;
- наїзд на тварин;
- падіння пасажирів тощо.

Частіше (більше 90 % від усіх зареєстрованих) трапляються наїзди транспортних засобів на пішоходів, зіткнення та перекидання, наїзди на перешкоди і на транспортні засоби, що стоять.

До 75 % усіх ДТП відбувається в населених пунктах, причому в більшості випадків на перехрестях. Але, тяжкість ДТП вище на дорогах поза населеними пунктами. Менше ДТП трапляється на автомагістралях, які ізольовані від пішоходів, велосипедистів, гужевого та іншого тихохідного транспорту, диких тварин, не мають перехресть на одному рівні, мають роздільні проїзні частини для кожного напрямку руху, на них заборонено навчання водінню тощо.

Аналіз ДТП показує, що вони відбуваються, головним чином, через помилки, недбалість та помилки водіїв. Саме до такого висновку найчастіше приходять офіційна статистика. Однак статистика виникнення ДТП часто недооцінює роль

дорожніх і погодно-кліматичних умов. Відомо, що вплив несприятливих дорожніх умов є прямою або непрямою причиною 70 % ДТП. Несприятливі дорожні умови значною мірою посилюють їх тяжкість.

Підвищення безпеки дорожнього руху – завдання комплексне, рішення якого можливе за умови чіткого функціонування всіх складових системи ВАДС. Найважливішою її складовою є транспортні засоби, сукупність яких на автомобільній дорозі утворює транспортний потік. Однієї з причин виникнення ДТП є технічна несправність транспортних засобів (це обумовлює 3,3 % ДТП). Незважаючи на високу надійність сучасних транспортних засобів, подальше вдосконалення їх конструкції є одним з важливих напрямків скорочення ДТП. Удосконалення транспортних засобів з метою підвищення безпеки руху спрямовані на зниження стомлюваності, скорочення часу реакції водія, полегшення керування транспортним засобом, покращення функціонування механізмів транспортного засобу і зменшення наслідків ДТП.

Покращення дії механізмів транспортного засобу становить сферу його активної безпеки, під якою розуміють забезпеченість конструкціями і технічними засобами, що гарантують безаварійний рух у нормальних дорожніх умовах при дотриманні водієм правил дорожнього руху. Це поняття включає в себе гарну оглядовість, ефективну і надійну роботу систем керування (гальмівну, рульове керування), стійкість і керованість транспортних засобів, ефективну дію освітлювальних і сигнальних приладів, малу стомлюваність водіїв тощо.

Щоб зменшити стомлюваність водія активна безпека висуває низку вимог до конструкції та обладнання кабіни. Кабіна повинна відповідати психофізіологічним можливостям людини, що досягається правильним їх конструюванням, розмірами, які не обмежують рухів водія, правильним розміщенням контрольно-вимірювальних приладів, елементів управління, конструкцією сидіння.

Дослідження стомлюваності водіїв з автоматичним і ручним управлінням коробкою передач показало, що використання автоматичної коробки передач зменшує навантаження на певні групи м'язів, нервову напругу, що покращує безпеку дорожнього руху.

До засобів активної безпеки слід також зарахувати пристрої, що попереджають водія про досягнення небезпечної швидкості, подають водієві звуковий або світловий сигнал з урахуванням коефіцієнта зчеплення, гальмівного шляху, прийнятих обмежень тощо.

При русі, особливо у складних умовах, водій постійно знаходиться в стані підвищеної напруженості та готовності змінити напрям руху для запобігання ДТП.

Легкість і надійність цього маневру конструктивно забезпечується рульовим керуванням, керованістю та стійкістю автомобіля.

Справний стан і надійна робота зовнішніх освітлювальних приладів транспортних засобів є найважливішою умовою безаварійного руху в темний час доби або в умовах недостатньої видимості. В сучасних автомобілях застосовуються лампи різних типів. Автомобіль повинен бути обладнаний справно діючими і правильно відрегульованими фарами, кількість, колір, розміщення фар мають відповідати конструкції транспортного засобу.

Першочергове значення для безпеки дорожнього руху має ефективність гальмування транспортних засобів, зокрема, стан гальм і правильне користування ними. Сучасні гальмівні системи дозволяють водієві зупинити транспортний засіб на порівняно короткому шляху руху й утримувати його в загальмованому стані, незалежно від навантаження і профілю дороги. Якщо водій заздалегідь підготовлений до зупинки транспортного засобу або до зниження швидкості руху, то гальмування здійснюється без максимально ефективного використання гальм, можливо і з включеною передачею. У цьому випадку зниження швидкості досягається за допомогою двигуна, а остаточна зупинка транспортного засобу – плавним гальмуванням, яке називають службовим. Гальмування з метою зупинки автомобіля на мінімально можливій відстані називається екстремим (аварійним). Воно, як правило, здійснюється раптово, у випадках виникнення непередбачених ситуацій, ефективність якого залежить від правильних дій водія та справності гальм.

Ефективність роботи гальм автомобіля перевіряється під час щоденного обслуговування автомобіля перед виїздом за одним із показників:

- величина гальмового шляху;
- величина гальмівної сили, що розвивається гальмами транспортного засобу;
- величина максимального уповільнення при гальмуванні.

Під пасивною безпекою транспортного засобу розуміють сукупність конструкцій і технічних засобів, що знижують тяжкість ДТП. Засоби пасивної безпеки знижують смертність і тяжкість тілесних ушкоджень водіїв та пасажирів.

Безпека водіїв і пасажирів значною мірою залежить від здатності кузова автомобіля гасити деформації та її величини після ДТП. Жорсткість кузова має бути обмежена, щоб у результаті зіткнення він деформувався у допустимих межах. Але, верхня частина кузова має бути міцною, щоб при перекиданні автомобіля простір салону істотно не змінювався.

Випробування легкових автомобілів з переднім розташуванням двигуна і передніми привідними колесами, заднім розташуванням двигуна і задніми привідними колесами показали, що при зіткненні від швидкості 50 км/год залежність між деформаціями кузова і повною масою автомобіля в межах 600...1350 кг є лінійною для всіх типів автомобілів. При рівності деформаційних властивостей для автомобілів з переднім розташуванням двигуна і передніми ведучими колесами відзначається велика демпфуюча здатність.

Внутрішні поверхні кузова повинні вкриватися енергопоглинаючим матеріалом, обов'язкове використання пневматичних подушок безпеки. При зіткненні подушки протягом дуже малого часу наповнюються газом, заповнюють простір, істотно знижуючи ймовірність і тяжкість травм водія і пасажирів. Дуже важливо, щоб деталі, які виступають в середину кузова, були еластичними і мали округлу форму.

Ефективним засобом пасивної безпеки автомобіля є ремені безпеки. Їх застосування значно знижує вірогідність смертельного результату, особливо при перекиданні автомобіля. Більш ніж вдвічі знижується тяжкість травм, ризик серйозного пошкодження або смертельного результату для пасажирів, що сидять попереду, знижується в 9 разів. Через наявність рульового колеса захист водія менш ефективний, але його можна покращити використанням рульової колонки, яка деформується (складається) під час зіткнення.

Удосконалення системи пасивної безпеки вимагає ретельних наукових досліджень. Перевірка нових конструкцій і пристроїв здійснюється при випробуваннях на експериментальних автомобілях, обладнаних манекенами і відповідною вимірювальною апаратурою. Вивчається характер ДТП, встановлюються причини загибелі або важких поранень людей, всебічно досліджується біомеханіка ушкоджень людини, розробляються вимоги до конструкції, міцності окремих частин автомобіля і його внутрішнього обладнання.

Культура і психологія праці в транспортних системах.

Культура праці ділиться на духовну і матеріальну. Духовна - це сфера свідомості і духовного виробництва (освіта, виховання, моральність тощо). Матеріальна – сфера матеріальної діяльності, яка є в кінцевому рахунку високою технологією виробництва. Культура праці – це поняття не тільки економічне, але і соціальне. Це перш за все турбота про людину, про його умов праці та побут.

Під культурою праці на автомобільному транспорті розуміють загальний рівень досконалості методів організації перевезень, технічного обслуговування і ремонту, розвиток матеріально-технічної бази АТП, зберігання рухомого складу, ступінь забезпеченості і якість експлуатаційних матеріалів і запасних частин, кваліфікацію і моральні якості інженерно-технічного складу, водіїв і ремонтно-обслуговуючого персоналу.

Особливий вплив на загальний рівень культури надає водійський склад. Від нього залежить підвищення ефективності роботи автомобілів, своєчасне виявлення і усунення несправностей, вибір найбільш сприятливих режимів руху автомобіля в конкретних умовах. Висококваліфіковані водії зменшують шкідливий вплив умов експлуатації на інтенсивність зношування автомобіля і створюють менше ДТП.

Автотранспортні підприємства відносяться до «великих систем», в яких людина бере участь як об'єкт управління, і як керівна ланка. Людина може бути новатором або консерватором, оптимістом чи песимістом, мати різні точки зору і смаки, в різному ступені проявляти почуття любові, ненависті, сорому, співчуття, страху тощо. Ці якості людини по-різному впливають на прийняті рішення.

На зростання продуктивності праці значно впливає людські фактори, що обумовлюються фізіологічними, психологічними та соціальними властивостями людини. Їх розумне використання може з'явитися серйозною додатковою виробничій силою. Розвиток і досягнення психології в даний час широко використовуються в соціальних науках. Дані психології можуть бути використані при дослідженні трудових колективів, соціальних факторів підвищення продуктивності праці, проблем управління соціальними процесами, проблем права, етики, естетики тощо. Дані психології знаходять широке використання і в технічних науках при розробці систем відображення інформації, автоматизованих систем управління, контрольно-діагностичних і прогнозуючих систем і пристроїв тощо. Психологія грає важливу роль в забезпеченні безпеки праці та запобігання травматизму.

Розвиток сучасної психології призвело до її диференціації і появи педагогічної психології, психології праці, соціальної психології. Психологія праці займається вивченням трудових процесів з метою підвищення їх ефективності за рахунок раціоналізації рухових операцій, пристосування знарядь праці і машин до можливостей людини, поліпшення екологічних умов і професійного відбору. В умовах автоматизації виробництва важливе значення має розподіл і узгодження функцій між людиною-оператором і машиною, сприйняття і переробка інформації, прийняття рішення та інші складні психологічні процеси. В зв'язку з цим спеціально

створена інженерна психологія. Людина розглядається як активний суб'єкт трудової діяльності, в якій всебічно розкриваються його здатності і творчі сили.

Психологія праці разом з фізіологією, екологією, гігієною і технічної естетикою складають комплексну галузь знань про працю, яка називається ергономікою. Соціальна психологія займається дослідженням діяльності людини в колективі, формуванням міжособистісних відносин і психологічної сумісності.

Важливими якостями людини є її здібності і майстерність. Під здібностями людини розуміють індивідуальні властивості його психіки, які сприятливо впливають на досягнення їм більш високого рівня певної діяльності. Здібності залежать від вроджених особливостей структури мозку, від умов життя, діяльності та методів навчання. Людина зі своєрідним поєднанням здібностей, добивається особливих досягнень, і вважається обдарованою. Людина з високим ступенем обдарованості вважається талановитою.

Під майстерністю людини розуміється сукупність знань, умінь і навичок. Гарним фахівцем може стати та людина, у якої вдало поєднуються всі ці три якості, одних тільки здібностей недостатньо. При гарних здібностях можна бути досить посереднім фахівцем.

Психічний стан характеризує психічну діяльність людини в даний момент часу. Це увага, емоційна напруга (стрес), бадьорість, втома, настрої, збудження, апатія тощо. Психологічні якості людей необхідно враховувати при організації їх діяльності і при розробці заходів щодо вдосконалення управління цілою системою. Знання цих якостей дозволяє краще організувати роботу і навчання водійського, ремонтно-обслуговуючого та управлінського персоналу.

На межі між технічними і психологічними науками сформувалася нова дисципліна – інженерно-технічна психологія, в якій розглядається діяльність людини, керуючого сучасною технікою. Важливу роль інженерна психологія відіграє при професійному доборі окремих фахівців (льотчиків, водіїв та ін.), а також при дослідженні таких якостей людини, як сприйняття навколишнього середовища, швидкість реакції на окремі сигнали, увагу тощо. Досягнення інженерної психології все ширше використовуються на транспорті. Питання інженерної психології повинні знаходити застосування, наприклад, при аналізі ДТП, значна частина яких (близько 60 %) відбувається з вини водіїв. При управлінні рухомим автомобілем в мозку людини безперервно будуються різні інформаційні моделі зовнішнього світу (дорожні ситуації). Аналізуючи протягом короткого проміжку часу ці моделі, водій, випереджаючи події, приймає те чи інше рішення, наприклад, почати поступове зниження швидкості або екстрене гальмування при

появі на проїзній частині пішохода. Якщо водій, проаналізувавши в динаміці ситуацію (модель), вважає, що пішохід і автомобіль не зіткнуться, він не змінює режим руху автомобіля. В іншому випадку він змушений вживати заходів для попередження можливого зіткнення. Водій під час руху автомобіля повинен утримувати в полі свого сприйняття дорогу і прилеглий до неї простір, контролювати показання приладів, стан автомобіля і вантажу, поведінку пасажирів, координувати роботу рук і ніг, на слух визначати справність і режими роботи агрегатів.

При навчанні у водіїв формуються навички, які базуються на створенні в корі головного мозку спеціальної функціональної системи моделювання предметів зовнішнього світу. В мозку людини здійснюється безперервне моделювання і підлаштування координати руху до безперервно мінливої дорожньо-транспортної обстановки. Відбувається взаємодія окремих нервових клітин, розташованих в різних ділянках кори. Для розвинення водійських навичок можна використовувати різні тренажери, що імітують умови і режими роботи автомобілів. Настання ДТП залежить не тільки від здатності людини реагувати на несподівані ситуації. При тривалій роботі водія знижується його працездатність, водій стомлюється, при цьому з'являються помилки в його діях, змінюються режими руху. В результаті стомлення знижується увага водія. Вона зазвичай коливається в певних межах протягом робочого дня і значно падає до його кінця. Між стомлюваністю, зниженням пильності водія і безпекою руху існують певні зв'язки. Різні людські переживання, негативні емоції, життєві конфлікти і інші психологічні явища також ведуть до підвищення аварійності.

З точки зору продуктивності праці дуже важливо з позиції психології правильно організувати діяльність людей. Соціологи і психологи, вивчаючи поведінку людини в системі, повинні встановлювати найбільш ефективні стимули морального та матеріального характеру, які надають позитивний вплив на транспортну систему в процесі управління.

При соціально-психологічному аналізі виробничих груп і колективів виділяють формальну (офіційну) і неформальну (неофіційну) організаційні структури. Формальна структура групи і колективу характеризується офіційним поділом праці і виконанням певних функцій. Неформальна структура є наслідком особистої взаємодії людей, індивідуальних контактів протягом робочого дня. Роль таких неформальних груп велика і їх повинен враховувати керівник. Бажано, щоб офіційний керівник був і головним неофіційним лідером.

Зазвичай виділяються три типу керівника:

- автократичний;
- демократичний;
- формальний.

При автократичному керівництві має місце централізація влади в руках одного керівника. Він одноосібно приймає рішення і підлеглі виконують тільки їх, не проявляючи своєї ініціативи. Все засноване на силі влади керівника.

Керівник демократичного типу спирається на своїх підлеглих, їх ініціатива підтримується і стимулюється. Цей тип керівника є найбільш ефективний.

Формальний тип керівника характеризується мінімальним втручанням в діяльність підприємства. Він створює лише необхідні умови для виконання поставлених завдань. Пасивність керівника часто чинить негативний вплив на результати діяльності.

Люди, що об'єднані в колектив, в своїй спільній діяльності здатні зробити значно більше, ніж якщо б вони діяли розрізно. Колектив створює нову продуктивну силу. Тому проблемам організації і розвитку трудових колективів потрібно приділяти багато уваги, їх діяльність слід розглядати насамперед з соціально-психологічних точок зору. Необхідно враховувати психологічний клімат, настрій колективу, міжособистісні відносини людей. Між окремими членами колективу можуть виникати симпатії, антипатії, особисті стосунки. В кінцевому підсумку в колективі створюється загальний рівень організованості і ініціативи: стиль роботи, загальний настрій, моральна і вольова єдність. Все це визначає і психологічний клімат.

З метою підвищення ефективності діяльності людини необхідно систематично вивчати поведінку людей, виявляти їх загальні побажання і встановлювати найкращі моральні та матеріальні стимули підвищення ефективності праці, визначати психологічні характеристики людей.

Психологічний клімат розглядається як інтегральна характеристика колективу. До основних факторів, що визначають клімат, відносяться згуртованість, задоволеність взаємовідносинами, колективна думка, суспільний настрій, рівень плинності, кількість порушень трудової дисципліни, число конфліктів і скарг тощо. Для поліпшення психологічного клімату в колективі необхідно розробляти спеціальні заходи. До них перш за все відносяться вдосконалення взаємовідносин у виробничих колективах, розробку форм морального і матеріального стимулювання, відповідний підбір керівників тощо.

Розрізняють поняття «людський фактор» і «особистий фактор». Поняття «особистий фактор» введено в зв'язку з вивченням помилкових дій людини, що

тягнуть за собою аварії на транспорті та у виробництві. Вони включають індивідуальний характер людини і не враховують характеристики машин, з якими він взаємодіє.

Істотний вплив на загальний рівень культури праці на транспортних підприємствах надають кваліфікація інженерно-технічного персоналу, його гуманітарна і науково-технічна ерудиція, знання теорії експлуатації машин, сучасних методів нормування і планування, технічної діагностики і обчислювальної техніки.

Культуру праці важко в загальному вигляді висловити аналітичними залежностями. Її зазвичай оцінюють за кінцевими результатами праці (продуктивність, собівартість, якість і конкурентоспроможність продукції тощо).

На АТП культуру праці в кінцевому підсумку можна в спрощеному вигляді оцінювати середньою продуктивністю системи «автомобіль–водій». Якщо прийняти, що час простою під навантаженням-розвантаженням дорівнює нулю, а довжина їздки, номінальна вантажопідйомність і середня технічна швидкість дорівнюють одиниці, то в спрощеному вигляді вказана продуктивність можна визначити:

$$P = T_n \alpha_v \beta \gamma, \quad (3.2)$$

де T_n – час в наряді, год;

α_v – коефіцієнт випуску автомобілів;

β і γ – відповідно коефіцієнти використання пробігу і вантажопідйомності.

Залежно від рівня культури останній вираз змінюється в межах від 1...7. Рівень організації перевезень оцінюється часом в наряді T_n , коефіцієнтами використання пробігу і вантажопідйомності автомобілів, рівнем технічного стану автомобілів - коефіцієнтом випуску автомобілів на лінію.

Питання для самоконтролю

1. Розкрийте суть поняття «транспортна система міста». Які вимоги висуваються до якісної транспортної системи?
2. Для чого створюються транспортні моделі? Які основні компоненти транспортної моделі?
3. Назвіть основні елементи моделі мережі громадського транспорту у програмному середовищі PTV Visum.
4. Що таке індукований попит? Назвіть основні властивості індукованого попиту.
5. Які є часові категорії реакції пасажирів на зміну тривалості переміщення?
6. Назвіть кілька заходів в сфері управління попитом на транспорт послуги та змін в сфері транспорту, які вони можуть спричинити.
7. Розкрийте суть понять просторової та часової нерівномірності пасажиропотоків.
8. Назвіть основні показники оцінки якості прогнозування.
9. Які існують види моделей транспортного попиту? В чому різниця між ними?
10. Назвіть основні об'єкти моделювання попиту у PTV Visum.
11. Розкрийте суть класичної чотирьохетапної моделі транспортного попиту.
12. Теоретичні основи визначення ефективності транспортних систем.
13. Соціальна та екологічна ефективність транспортних систем.
14. Економічна ефективність транспортних систем.
15. Що розуміють під поняттями «ефективність» й «ефективність транспорту».
16. Назвіть основні шляхи зменшення забруднення повітря в містах від транспортних засобів.
17. В транспортній системі міст утворюється велика кількість різноманітних шкідливих речовин. Назвіть найбільш небезпечні з них.
18. Назвіть основні методи очищення поверхневих стічних вод.
19. Назвіть забруднювачі ґрунту поблизу транспортних шляхів за характером розподілу.
20. Назвіть засоби для видалення рослинності на узбіччях, відкосах, в кюветах, на смугах відводу доріг.
21. Назвіть недоліки використання гербіцидів для видалення рослинності на узбіччях, відкосах, в кюветах, на смугах відводу доріг.
22. Назвіть основні правила поводження з ґрунтом, що знімається під час будівництва доріг.
23. Назвіть основні причини ерозії ґрунтів під час створення та експлуатації транспортної системи.

24. Назвіть причини, що впливають на транспортну ерозію відвідних русел штучних споруд водовідведення.
25. Назвіть заходи захисту ландшафту, флори та фауни на транспортних шляхах.
26. Як впливають різні фактори шуму на людей та інші живі організми?
27. Що таке екологічна безпека на транспорті?
28. Назвіть основні причини високої аварійності на автомобільному транспорті.
29. Назвіть причини виникнення екологічних проблем під час експлуатації транспортних підземних тунелів.
30. Дайте визначення поняттю «оглядовість» для водія.
31. Дайте визначення поняттю «функціональний стан людини» та запропонуйте психологічні заходи для підвищення надійності людини в екстремальних умовах?
32. Чим характеризується надійність водія? Назвіть основні ознаки втоми та перевтоми водія.
33. Що входить в поняття «раціональна організація робочого місця водія»?
34. Назвіть класифікаційні ознаки дорожніх та транспортних умов експлуатації автомобілів.

Список рекомендованої літератури:

1. Cascetta E. Transportation Systems Analysis: Models and Applications. Springer, 2009.
2. Ort'uzar J., Willumsen L. Modelling Transport. Fourth Edition. New York : John Wiley & Sons Ltd, 2011. 607 p.
3. Time Series Analysis: Forecasting and Control. 5th Edition / George E. P. Box, Gwilym M. Jenkins, Gregory C. Reinsel, Greta M. Ljung. John Wiley and Sons Inc., New Jersey, Hoboken, 2015. P. 712.
4. Горем Роджер. Індукований попит на транспортні послуги: розвінчання міфів : Технічний документ про сталий міський транспорт № 1. 20 с.
5. Rodrigue Jean-Paul. The Geography of Transport Systemю 4th Edition. New York : Routledge, 2017. 440 p.
6. Андреа Броддус, Тод Літман, Гопінат Менон Управління попитом на транспортні послуги. Інструкція. 2009. 136 с.
7. Sustainable Approaches to Urban Transport. in D.Mohan, G.Tiwari (ed.). Boca Raton : CRC Press, 2019. 329 p.
8. Cascetta E. Transportation systems engineering: theory and methods. New York : Springer Science + Business Media, LLC, 2013. 710 p.
9. Black John Urban Transport Planning. Theory and Practice. New York : Routledge, 2018. 246 p.

10. Janic M. *Transport Systems. Modelling, Planning, and Evaluation*. London : CRC Press, 2017. 428 p.
11. Tolley R.S., Turton B.J. *Transport Systems, Policy and Planning*. New York : Routledge, 2014. 420 p.
12. Visum 11.5. Basics. PTV AG. Karlsruhe, 2010. 756 p.
13. Leigh B. Lane. *Economic Performance Measurements*. Institute for Transportation Research and Education North Carolina State University with Economic Development Research Group. 2015. 121 p.
14. *Development of Tools for Assessing Wider Economic Benefits of Transportation*. National Academy of Sciences, 2013. 140 p.
15. *Транспортная инфраструктура и экономический рост*. М. : Издательство Перо, 2019. 142 с.
16. Шерепа К.М. Економічна оцінка ефективності роботи й розвитку пасажирського транспортного комплексу. *Проблеми підвищення ефективності інфраструктури*.
17. Кириченко О.І. Економічна оцінка ефективності функціонування транспортної системи України. *Культура народів Причорномор'я*. 2012. № 239. С. 172–175.
18. Гнедіна К.В. Методичні засади оцінювання економічної ефективності функціонування системи міського пасажирського транспорту. *Вісник Чернігівського державного технологічного університету*. 2013. № 3 (68). С. 199–208.
19. Панкратова Е.А. Экономическая эффективность транспортной системы: методологические походы к оценке. *Transport business in Russia*. 2020. № 5. С. 10–13.
20. Екологічний стан м. Києва / Бондар О.І. та ін. К., 2008. 96 с.
21. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від транспортних засобів : Наказ Державного комітету статистики України № 452 від 13.11.2008.
22. ГСТУ 218-02071168-096-2003. Охорона навколишнього середовища. Автомобільні дороги загального користування. Оцінка та прогнозування екологічного стану доріг та виробничих баз.
23. URL: <https://www.emisia.com/utilities/copert>.
24. Гутаревич Ю.Ф. Екологія та автомобільний транспорт: навчальний посібник, 2-ге вид., перероблене та доповнене. К. : Арістей, 2008. 296 с.
25. Benjamin J., Obeng K. The effect of policy and background variables on total factor productivity for public transit. *Transportation Research Part B:Methodological*. 1990. Vol. 24, Issue 1. P. 1–14.
26. Системологія на транспорті : підручник. У 5 кн. Кн. IV. Організація дорожнього руху / Гаврилов Е.В. та ін. К. : Знання України, 2007. 450 с.
27. Організація та регулювання дорожнього руху : підручник / за заг. ред. В.П. Поліщука. К. : Знання України, 2011. 467 с.

28. Fielding G.J., Glauthier R.E., Lave C.A. Performance indicators for transit management. *Transportation*. Vol. 7. 1978. P. 365–379.
29. Nolan J.F. Determinants of productive efficiency in urban transit. *Logistics and Transportation Review*.
30. Екологія та автомобільний транспорт / Гутаревич Ю.Ф. та ін. К. : Арістей, 2006. 291 с.
31. Мазур В.В., Мельник М.Р. Розрахунок шуму та викидів CO₂ в транспортній мережі міста Львова. URL: <http://ena.lp.edu.ua:8080/handle/ntb/4338>.
32. Дідковський В.С., Заєць В.П., Самійленко, Н.О Порівняльний аналіз визначення шумових характеристик транспортних потоків, *Електроніка и связь. Сер. Акустические приборы и системы*. 2010. № 4 (57). С. 149–154.
33. Линник І.Е. Прогнозування екологічного стану автомобільних доріг. *Містобудування та територіальне планування*. 2014. Вип. 53. С. 288–296. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/MTP_2014_53_36.
34. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин у повітря автотранспортом, який використовується суб'єктами господарської діяльності та іншими юридичними особами всіх форм власності : затв. наказом Держкомстату України від 6 верес. 2000 р. № 293 зі змін. і доп., внес. наказом Держкомстату України від 13 січ. 2004 р. № 15.
35. Луканин В.Н., Трофименко Ю.В. Промышленно-транспортная экология. М. : Выш. школа, 2003. 284 с.
36. URL: <http://www.emisia.com/>.
37. Давідч Ю.О., Фалецька Г.І., Ольхова М.В. Конспект лекцій з дисципліни «Ефективність транспорту» (для магістрів усіх форм навчання спеціальності 275 – Транспортні технології). Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2019. 74 с.
38. Кристопчук М.Є. Соціально-економічна ефективність пасажирської транспортної системи приміського сполучення : монографія. Рівне : НУВГП, 2012. 158 с.
39. Екологія автомобільного транспорту : навч. посіб. / Гутаревич Ю.Ф., Зеркалов Д.В., Говорун А.Г., Корпач А.О. // Національна транспортна академія. К. : Основа, 2002. 312 с.
40. Луканин В.Н., Трофименко Ю.В. Снижение экологических нагрузок на окружающую среду при работе автомобильного транспорта. М., 1996. 339 с.
41. Масленникова И.С. Экологический менеджмент на транспортных коммуникациях. СПб. : Недра, 1997. 135 с.
42. Екологічний стан м. Києва / Бондар О.І. та ін. К., 2008. 96 с.
43. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від транспортних засобів : наказ Державного комітету статистики України № 452 від 13.11.2008.
44. ГСТУ 218-02071168-096-2003. Охорона навколишнього середовища. Автомобільні дороги загального користування. Оцінка та прогнозування екологічного стану доріг та виробничих баз.

45. ДБН В.2.3-4:2007. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. К. : Держбуд України, 2007. 84 с.
46. ДБН А.2.2-1-2003. Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище. К. : Держбуд України, 2003. 73 с.
47. Гутаревич Ю.Ф. Екологія та автомобільний транспорт : навч. посіб. Вид. 2-ге, переробл. і допов. К. : Арістей, 2008. 296 с.
48. Екологія та автомобільний транспорт : навч. посібник / Гутаревич Ю.Ф., Зеркалов Д.В., Говорун А.Г., Корпач А.О. К. : Арістей, 2006. 292 с.
49. Сарбаев В.И. О загрязнении природной среды транспортными потоками. *Материалы и технологии XXI века*. Пенза, 2001. Ч. 111. С. 88–90.
50. Колосюк Д.С., Зеркалов Д.В. Експлуатаційні матеріали : підручник. К. : Основа, 2003. 200 с.
51. Валова В.Д. Основы экологии : учебное пособие. Изд. 2-е, перераб. и доп. М. : Издательский Дом «Дашков и Ко», 2001. 264 с.
52. Автотранспортные потоки и окружающая среда : учебное пособие для вузов / Луканин В.Н. и др. М. : ИНФРА-М, 1998. 408 с.
53. Луканин В.Н., Трофименко Ю.В. Промышленно-транспортная экология. М. : Высш. шк., 2001. 273 с.
54. Куров Б.М. Как уменьшить загрязнение окружающей среды автотранспортом? *Россия в окружающем мире*. М. : Изд-во МНЭПУ, 2000. 328 с.
55. Акимова Т.А., Хаскин В.В. Экология. Человек – Экономика – Биота – Среда : учебник для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М. : ЮНИТИ-ДАНА. 2000. 30 с.
56. Ільченко А.В. Підвищення ефективності експлуатації автомобілів використанням моторних палив з високооктановими кисневмісними добавками : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.20 / Житомирський інженерно-технологічний ін-т. Житомир, 2003. 147 с.
57. Ільченко А.В. Теоретичні передумови зменшення витрат двокомпонентних моторних палив. *Вісник ЖДТУ*. 2004. № 31. С. 43–49.
58. Ільченко А.В., Кур'ята В.П. Вплив домішок рослинних олій до дизельного палива на димність відпрацьованих газів двигуна. *Вісник ЖДТУ*. 2007. № 1 (40). С. 29–33.
59. Грабар І.Г., Ільченко А.В. Спосіб контролю однорідності бензину з високооктановими кисневмісними домішками : пат. на винахід № 54793 : МПК С10L 1/04, G01D 5/12. № 2002043034 ; заявл. 15.04.02 ; надрук. 15.05.06, бюл. № 5. 3 с.
60. Modern Paradigm and Prospects of Chemmotology Development / Aksenov A.F., Seregin E.P., Yanovskii L.S., Boichenko S.V. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. 2013. № 4 (578). p. 13–20.
61. Boichenko S.V., Zakharchuk M.M. Aviation Fuels and Lubricants: Manual. К. : NAU, 2012. 184 p.
62. Quality and Ecological safety of motor fuels / Boychenko S., Vovk O., Chernyak L., Akinina K. *Chemistry & Chemical Technology*. 2007. № 6. p. 109–115.

63. Bruce E. Logan Environmental Transport Processes. Wiley, 2012. 482 p.
64. Eduardo Saez A., James C. Baygents Environmental Transport Phenomena. CRC Press, 2014. 244 p.
65. Givoni Moshae, Banister David Moving Towards Low Carbon Mobility. Edward Elgar Publishind Ltd, 2013. 304 p.
66. Guisi Lofrano Green Technologies for Wastewater Treatment. Energy Recovery and Emerging Compounds Removal. Springer Netherlands, 2012. 92 p.
67. Guterverkehr und Logistik. URL: <http://www.bmvbs.de/Verkehr/-2828//Gueterverkehr-Logistik.htm>.
68. Jone S. Guliver Transport and Fate of Chemicals in the Environment. Selected Entries from the Encyclopedia of Sustainability Science and Technology. Springer-Verlag New York, 2012. 378 p.
69. June Hupe ICAO's work on the environment. *Aviation and the Tnvironment*. Vol. 11, № 44. P. 23–26.
70. Stanley John, Stanley Janet, Hadsen Roslyne How Great Cities Happen. Edward Elgar Publishind Ltd, 2017. 320 p.
71. The World Factbook. URL: <http://www.cia.gov/library/publication/the-world-factbook>.
72. Yelda S. Urban Transportation and the Environment Issues, Alternatives and Policy Analysis. SprengerIndia, 2015. 158 p.
73. Influence of exhaust for air condition in cities / Zabyshnyi Y.O., Semchuk Y.M., Melnyk V.M., Dolishniy B.V. *The scientific heritage*. Hungary, 2016. Vol. 1, № 3 (3). P. 28–34.
74. Zimmerman Rae Transport, the Environment and Security. Making the Connection. Edward Elgar Publishind Ltd, 2012. 288 p.
75. Давідч Ю.О. Проектування автотранспортних технологічних процесів з урахуванням психофізіології водіїв. Х. : ХНАДУ, 2006. 292 с.

РОЗДІЛ 3. ВАНТАЖНА ТРАНСПОРТНА СИСТЕМА

Розділ присвячено моделюванню вантажних транспортних систем і оцінці сценаріїв їх розвитку. У першій темі проведено аналіз сучасного стану процесу стандартизації інтелектуальних транспортних систем, розглянуті системи управління громадським транспортом, інформації про подорожуючих, методи ІКТ та ІТС для підтримки пасажирів в управлінні та використанні мультимодальної мережі; системи управління вантажним транспортом. У другій темі розглянуті питання щодо формування ланцюгів постачання: структура і функціональні можливості логістичної мережі, проблеми класифікації, стратегії розподілу. Розглянуті тенденції в комерційній географії, комерціалізація транспортної галузі, транспортні витрати і тарифи, види транспортних витрат, логістичні витрати і вибір виду транспорту. Наведено оцінку сценаріїв вантажних перевезень на прикладі оцінки потенціалу коротких морських перевезень в порівнянні з автомобільним і комбінованим автомобільно-залізничними видами перевезення.

CHAPTER 3. FREIGHT TRANSPORT SYSTEM

Chapter 1 is devoted to smart technologies on transport, which are used for the development of a city sustainable system. Theme 1 describes the current state of the process of standardization of intelligent transportation systems, transit management systems, methods of ICT and ITS for supporting planners and travelers in the management and fruition of multimodal network, freight management systems. Theme 2 provides the formation of supply chains: the structure and functionality of the logistics network, classification problems, distribution strategies. Trends in commercial geography, commercialization of the transport industry, transport costs and tariffs, types of transport costs, logistics costs and the choice of the mode of transport are considered. An assessment of freight traffic scenarios is given on the example of assessing the potential of short sea transportation in comparison with road and combined road-rail modes of transportation.

**РОЗДІЛ 3.
ВАНТАЖНА ТРАНСПОРТНА СИСТЕМА**

**CHAPTER 3
FREIGHTN TRANSPORT SYSTEM**

O.B. Россолов, Є.І. Куш, О.О. Лобашов, К.Є. Вакуленко

Oleksandr Rossolov, Yevhen Kush, Oleksiy Lobashov, Kateryna Vakulenko

Тема 1. Інтегровані транспортні системи в міський логістиці

Theme 1. Integrated Transport Systems in City Logistics

**1.1. Розподіл вантажних потоків у містах та покупна активність:
учасники та проблеми**

**1.1. City Freight flows distribution and purchasing activity:
participants and problems**

Основні принципи міських логістичних ланцюгів постачань

Міський вантажний транспорт є складною та неоднорідною системою. Причиною цього є те, що міські перевезення визначаються міською економікою, і в місті існує безліч різних секторів економіки: від промисловості до сфери послуг, приватних і державних, від великих конгломератів до неформальної торгівлі і виробництва. Ця різноманітність робить міста такими унікальними і цінними, місцем, де сходяться тисячі видів діяльності.

Міські вантажні перевезення є результатом логістичних рішень, спрямованих на ефективне переміщення товарів у рамках системи виробництва і розподілу. Ці логістичні рішення засновані на вимогах учасників ринкових відносин і не піддаються сильному впливу певних моделей конкретного міста [1]. Місто забезпечене сотнями ланцюгів постачань (щонайменше 150 спостерігалось в європейських містах) [2], по одній на кожен сектор економіки. Всі ці ланцюги постачань є результатом логістичних рішень, які в свою чергу засновані на потребах секторів виробництва і розподілу, та залежать від поведінки учасників ринкових відносин, таких як домашні господарства і фірми. Кожен вид діяльності (комерційний, промисловий, адміністративний тощо), що має місце в міському

середовищі, може бути пов'язаний з певним попитом на вантажні перевезення, який є постійним від одного міста до іншого. З логістичної точки зору, аптека (або пекарня, або банк) функціонує за однаковою схемою не зважаючи на те, чи знаходиться вона в центрі великого мегаполісу або на околиці міста середнього розміру [2]. У той час як пасажирські перевезення можна умовно поділити на кілька категорій (як правило, за способом або метою поїздки), вантажні перевезення сильно фрагментовані за видами транспорту, типом оператора і походженням товару (тобто міжміські ланцюги постачань або локальні). Транспортні засоби також дуже різноманітні: вантажні автомобілі і фургони усіх розмірів і вантажопідйомності, легкові автомобілі, мотоцикли та велосипеди, триколісні та рикші, пішохідні візки, візки для перевезення тварин, залізничний та водний транспорт.

Існує кілька великих категорій міських логістичних ланцюгів постачань, для яких можна визначити загальні характеристики вантажних перевезень.

✓ *Індивідуальні роздрібні магазини і місцеві магазини шагової доступності.* Ці сектори разом можуть складати 30-40 відсотків усіх щоденних поставок у місті. Поставки у такі місцеві магазини виконуються три-десять разів на тиждень. Постачальники різноманітні, з переважним використанням furgonів за власний рахунок.

✓ *Мережа роздрібної торгівлі та комерційні центри.* У європейських містах великі торгові марки з філіями чи франшизами збільшують свою частку міського простору за рахунок незалежних місцевих магазинів (цей перехід вже відбувся в США). Це змінює спосіб постачання товарів у магазини, з меншою частотою поставок, більшою часткою консолідованих відправлень та транспортних засобів, з більшою вантажністю та з максимальним завантаженням.

✓ *Продовольчі ринки.* Особливо важливим для країн, що розвиваються, є наявність надзвичайно різноманітних режимів постачань, включаючи велосипеди та візки. Дані про фактичний обсяг згенерованих вантажних потоків майже відсутній. Опитування 300 постачальників ринку в Пномпені, Камбоджа, показало, що 87 відсотків поставок на ринок здійснювали самі продавці, а 13 відсотків – транспортні провайдери [3].

✓ *Перевезення посилок (не повне завантаження транспортних засобів) і кур'єрські послуги.* Дана категорія є одною з найбільш динамічно розвинутих підприємств міського транспорту. Ця галузь використовує великі мікроавтобуси або вантажні автомобілі малого та середнього розміру, і ґрунтується на консолідованих поставках, що відправляються від кросс-докінг терміналів до

внутрішніх приміських районів. Транспортні засоби від провідних експрес-транспортних компаній (UPS, DHL, TNT, FedEx) зараз працюють у більшості міст світу з певною географічною спеціалізацією (DHL у європейських містах, UPS у містах США).

✓ **Адресні доставки.** Ринок покупок з адресною доставкою становить сьогодні 80 мільярдів євро (5 відсотків усієї роздрібною торгівлі) в Європі. Великі поштові оператори домінують на цих ринках, але з'являються нові гравці. Японські таксубіни або компанії з перевезення посилок, які спеціалізуються на адресному постачанні, є унікальною особливістю японської міської логістики [4].

✓ **Будівельні площі.** Вони є ключовим сегментом через тоннаж, який вони генерують (до 30 відсотків тоннажу, який перевозиться у містах). Транспортні засоби, як правило, це важкі вантажні автомобілі, які завдають шкоди дорогам. Багато постачальників і погано заплановані графіки доставки призводять до великої кількості поставок, черги та загального розладу на майданчиках. Деякі міста, такі як Лондон та Стокгольм у Європі, запустили схеми консолідації. Лондонський центр консолідації був реалізований у 2006 році з фонду Транспортну для Лондона та приватних інвесторів. Оцінка 2007 року показала, що за схемою було досягнуто 68 відсотків зменшення кількості транспортних засобів та на 75 відсотків скоротилися викиди CO₂ [5].

✓ **Вплив на навколишнє середовище.** Міські вантажні перевезення є більш забруднюючими, ніж вантажні перевезення на великі відстані, оскільки використовуються переважно транспортні засоби старого зразка, а також виконується велика кількість зупинок і коротких поїздок. На вантажний транспорт припадає третина викидів NO_x та половина твердих частинок, пов'язаних з транспортуванням [6]. Викиди парникових газів та шумове забруднення також належать до найважчих екологічних наслідків міського вантажного транспорту. У Діжоні, Франція, вантажні перевезення становлять 26 відсотків від загального обсягу дорожнього руху, пов'язаних з ТНЕ (тонни нафтового еквівалента (кількість енергії, що виділяється спалюванням однієї тонни сирової нафти)).

Сталий міський вантажний транспорт

Сталий транспорт відноситься до широкого спектру транспортних питань, який є сталим у розумінні соціальних, екологічних та кліматичних впливів. Компоненти оцінки сталості транспорту включають конкретні транспортні засоби, які використовуються для автомобільного, водного чи повітряного транспорту;

джерело енергії; та інфраструктуру, яка використовується для розміщення транспорту (дороги, залізниці, повітряні шляхи, водні шляхи, канали та термінали). В оцінці також беруть участь транспортні операції та логістика, а також транзитно-орієнтований розвиток. Сталість транспорту значною мірою вимірюється ефективністю функціонування транспортної системи, а також її впливом на довкілля та клімат.

Міський вантажний транспорт або міський рух товарів визначаються як такі, що мають нестійкий вплив на:

- **людей**, такі як наслідки дорожньо-транспортних пригод, шумового ураження, візуального вторгнення, запаху, вібрації та наслідки (місцевих) викидів, таких як NOx та PM10 для здоров'я населення;

- **прибуток**, такий як неефективність (особливо для перевізників) через регламенти та обмеження, затори та зменшення доступності міста;

- **планету**, такі як внесок транспорту в глобальні викиди забруднюючих речовин (CO2) та наслідки для глобального потепління.

Було виділено чотири основні групи суб'єктів діяльності у міському вантажному транспорті:

1. Основна зацікавленість **місцевих органів влади** – розвивати або підтримувати придатне для життя місто. Щоб досягти цієї мети, органи місцевої влади прагнуть зменшити рух вантажних автомобілів та пов'язаний з цим несприятливий вплив, а також покращити якість повітря в містах, застосовуючи правила, такі як часові вікна, обмеження транспортних засобів та зони з низьким рівнем викидів.

2. Основний інтерес **перевізників** – організувати діяльність міського вантажного транспорту максимально ефективно. Наразі цьому перешкоджають місцеві правила, такі як, тимчасові вікна, які змушують перевізників здійснювати доставку протягом обмеженого періоду часу, що призводить до далекого від оптимального планування поїздки в обидва кінці. Часові вікна також зобов'язують перевізників їздити протягом (ранкового) пікового періоду. Місцеві нормативні акти (рідко гармонізовані між містами) призводять до проблем із користуванням транспортними засобами, неефективних транспортних операцій (і, отже, додаткових викидів) та серйозного збільшення витрат для перевізників [7].

3. **Одержувачі (наприклад, власники магазинів)** зазвичай не беруть участь у міських вантажних перевезеннях, але їхні замовлення фактично ініціюють операції міського вантажного транспорту.

4. Одержувачам подобається привабливий торговий клімат з мінімальними труднощами від постачання вантажівками. Крім того, вони хочуть надійної системи розподілу, в якій поставки здійснюються вчасно.

Основний інтерес жителів – це приємна побутова обстановка. Місцева влада, як правило, піклується про інтереси своїх "виборців". Мешканці хочуть мати чисте повітря (якомога менше викидів забруднюючих речовин), без шуму чи іншого несприятливого впливу, спричиненого подачею, завантаженням або вивантаженням вантажівок.

Ініціативи щодо забезпечення сталості міського вантажного транспорту (СМВТ) можуть бути структуровані у два основні класи:

А. Ініціативи, спрямовані на покращення сталості в умовах існуючих міських вантажних перевезень.

В. Ініціативи, спрямовані на покращення сталості шляхом зміни існуючих міських вантажних перевезень.

С. Ініціативи класу **А** спрямовані на посилене використання наявної інфраструктури (наприклад, пропускна спроможність доріг, місця розвантаження у містах та місткість транспортних засобів). У межах цього класу є дві різні ініціативні категорії: ініціативи, які ініціюються органами влади (місцевими), та ті, які ініціюються неурядовими суб'єктами, такими як перевізники, вантажовідправники, вантажоодержувачі та виробники. Ця різниця відповідає відмінностям, що наведені іншими авторами [8,9] та в результаті формує дві категорії в ініціативах класу **А** та класу **В**. Ініціативи класу **А**: політичні ініціативи (**A1**) та ініціативи компанії (**A2**). Ініціативи класу **В** є більш радикальними, ніж класу **А**: зазвичай в них задіяна більша кількість учасників і поєднується більше напрямків рішення питань (або повинно бути поєднане). Для ініціатив класу **В** також виділяється дві категорії: ініціативи в області фізичної інфраструктури (**B1**) та транспортно-реорганізаційні ініціативи (**B2**). У табл. 1.1 наведено всі можливі ініціативи групи **А** та **В**.

Категорія А1 Політичні ініціативи.

Платежі за проїзд по дорогам. Відомі приклади платежів за проїзд по дорогам можна побачити на прикладі Лондона (тариф на затор) та Стокгольма. Платежі за проїзд по дорогам зазвичай орієнтовані на всіх учасників руху, а не лише на міський вантажний транспорт (на відміну від усіх інших ініціатив, обговорених у цій главі). Платежі за проїзд по дорогам можуть бути різними для міського пасажирського та вантажного транспорту, але зазвичай це не так. Збільшення доступності міста, про яке згадується в деяких ініціативах, пов'язане головним чином із зменшенням

пасажирських перевезень, оскільки міський вантажний транспорт здається досить байдужим до дорожніх цін. У більшості випадків перевізники не змінюють свою поведінку через вимоги замовника або через те, що вони можуть стягувати з одержувача збільшену плату через ціноутворення на дорогах.

Таблиця 1.1 – Структура ініціатив міського вантажного транспорту

Клас	Категорія	Тип ініціативи
Клас А Ініціативи, спрямовані на покращення в існуючих умовах	Категорія А1 Політичні ініціативи	Платежі за проїзд по дорогам
		Ліцензування та регулювання
		Паркування та вивантаження
	Категорія А2 Ініціативи компаній	Співпраця перевізників
		Поліпшення маршрутизації транспортних засобів
		Технологічна інновація транспортних засобів
Клас В Ініціативи, спрямовані на покращення шляхом зміни існуючих	Категорія В1 Ініціативи в області фізичної інфраструктури	Центр консолідації
		Підземна логістична система
		Розвиток дорожньої інфраструктури
		Стандартизація вантажних одиниць
	Категорія В2 Транспортно- реорганізаційні ініціативи	Транспортні аукціони
		Інтермодальні перевезення

Ліцензування та регулювання. В рамках ліцензійних і регуляторних ініціатив місцеві органи влади прагнуть змінити діяльність перевізників для досягнення сталості (або, принаймні, викликати менше негараздів) шляхом дотримання законодавства. Виділяється декілька різних ініціатив ліцензування та регулювання, як правило, з різними цілями щодо сталості: обмеження транспортних засобів, контроль коефіцієнту навантаження транспортних засобів, зони з низьким рівнем викидів, вікна з тимчасовим доступом та спеціальна інфраструктура. Ці ініціативи зазвичай не використовуються ізольовано, а використовуються тільки для того, щоб змусити працювати інші напрямки рішень (наприклад, зона з низьким рівнем викидів змушує перевізників використовувати більш чисті транспортні засоби).

- ✓ Основною метою **контролю коефіцієнта завантаження транспортних засобів** є зменшення кількості транспортних засобів, що в'їжджають до міста, за рахунок стимулювання консолідації за межами центра міста з метою збільшення коефіцієнта завантаження транспортного засобу.
- ✓ Місцеві органи влади використовують **зони з низьким рівнем викидів** (або екологічні зони) для покращення якості повітря в містах, шляхом

виключення забруднюючих вантажівок, які роблять викиди забруднювачів, таких як РМ та NO_x, з міських центрів.

- ✓ **Часові вікна** обмежують проїзд вантажівок в райони, як правило, до центру міста, протягом певних періодів дня. Зазвичай вони дозволяють проїзд транспортних засобів лише у години, коли це не заважає мешканцям (тому це виключає ночі) і в які не перешкоджають торговельній діяльності (тому це виключає післяобідній час).

Паркування та вивантаження. Ініціативи з паркування та вивантаження використовуються для вирішення двох типів проблем: викликаних дефіцитом наявних навантажувальних площ у переповнених центрах міста; і ті, що викликані вивантаженням транспортних засобів; наприклад, транспортні засоби (припарковані у два ряди), які при розвантаженні призводять до проблем з дорожнім рухом. Більшість ініціатив з паркування та вивантаження зосереджені на створенні (наприклад, використання автобусних відсіків) або резервуванні спеціальних зон для вивантаження. Це порівняно легко і не потребує великих витрат. Більшість цих ініціатив реалізуються на практиці. Забезпечення належного використання розвантажувальних площ є ключовим фактором успіху.

Категорія А2 Ініціативи компаній.

Співпраця перевізників. Перевізники можуть співпрацювати різними способами, наприклад, консолідація товарів в конкретних приміщеннях або найм нейтрального перевізника (можливо, використовуючи спільну участь), щоб запобігти знаходженню на одній вулиці двох напів заповнених транспортних засобів.

Поліпшення маршрутизації транспортних засобів. Основна ідея ініціатив щодо вдосконалення маршрутизації транспортних засобів полягає в зменшенні кількості пройдених автомобіле-кілометрів і штрафних санкцій.

Технологічна інновація транспортних засобів. Більшість технологічних інновацій транспортних засобів зменшують деякий несприятливий вплив, викликаний транспортними засобами, такий як шум, викиди і навіть безпеку. Ці промислові рішення роблять вантажівки екологічно чистими, а нормативи стимулюють до використання екологічно чистих технологій. У міських районах експериментують електричні вантажні автомобілі, гібридні установки та вантажівки зі стисненим природним газом. Інші ініціативи, орієнтовані на розробку спеціальних вантажних автомобілів для міських операцій, наприклад, автомобілі з низькою підлогою для прискорення завантаження та вивантаження, вантажні

автобуси тощо, зазвичай ініціюються виробниками, і тому вони не зазначені в науковій літературі.

Категорія В1 Ініціативи в області фізичної інфраструктури.

Центр консолідації. Ініціативи по створенню міського центру консолідації (МЦК) є типовими міськими логістичними ініціативами [10] і іноді навіть використовуються як синонім міської логістики. Обґрунтуванням ініціатив по створенню центру консолідації є розділення вантажного транспорту на дві частини: в середині міста та за межами міста. Ця відмінність дозволяє спроектувати обидва типи транспорту, які найкраще відповідають конкретним характеристикам; тобто використовувати великі транспортні засоби для перевезення на великі відстані за містом на автошляхах, не маючи таких недоліків, як складна маневреність та безпека руху в місті. Менші вантажні автомобілі використовуються для розподілення в місті з центру консолідації. Центр консолідації особливо цікавий як відправна точка для електромобілів; таким чином найбільший несприятливий вплив від міського вантажного транспорту зменшується (наприклад, шум та забруднення).

Підземні логістичні системи. Однією з найбільш радикальних ініціатив щодо покращення сталості міського вантажного транспорту є розвиток підземної логістичної системи. Наразі ці ініціативи є лише теоретичними. Дослідження не були застосовані на практиці. Основна ідея полягає в тому, що ці ініціативи усувають усі негативні наслідки, без погіршення позитивних наслідків міського вантажного транспорту. Цей спосіб доставки товарів до центрів міста був вивчений ще в 1860 році для міста Лондона (система пневматичних капсул).

Розвиток дорожньої інфраструктури. Цей тип ініціативи орієнтований на розвиток нової інфраструктури в місті. Багато проблем сталого розвитку пов'язані з використанням дорожньої інфраструктури, тому розвиток дорожньої інфраструктури може здатися недоречним в якості ініціативи СМВТ. Однак для міст, де потреба в наявній дорожній інфраструктурі є нагальною і де перевантаження викликають більшість проблем сталого розвитку, розвиток додаткової інфраструктури призводить до підвищення ефективності транспорту.

Стандартизація вантажних одиниць. Ідея цього типу ініціативи, стандартизації вантажних одиниць для розподілу у місті, заснована на успіху морського контейнера. Ініціативи стандартизації вантажних одиниць в основному сприяють досягненню успіху інших видів ініціатив, які залежать від ефективної передачі товарів. Інноваційні концепції розподілення, такі як shuttle концепція, залізничні системи, поєднання вантажного і пасажирського транспорту або

концепція водних перевезень, швидше за все, будуть застосовані на практиці при широкому застосованні стандартного наземного контейнеру.

Категорія B2 Транспортно-реорганізаційні ініціативи.

Транспортні аукціони. Транспортний аукціон можна охарактеризувати як ІТ-рішення. Основна ідея - зробити транспортну систему більш ефективною за рахунок зменшення кількості пройдених порожніх пробігів і таким чином зменшити кількість вантажних автомобіле-кілометрів у міських районах, а також зменшення відповідних викидів. Наприклад, Інтернет-аукціон збільшить попит на транспорт та зробить більш легкий пошук вантажу для транспортних засобів, які в іншому випадку повертаються порожніми з міського району. Максимальне підвищення ефективності обмежується наявним обсягом транспорту в зворотному напрямку.

Інтермодальні перевезення. Ініціативи інтермодального міського вантажного транспорту спрямовані на реорганізацію транспорту, з використанням поза шляхових видів з меншою кількістю викидів забруднюючих речовин. Цей тип ініціативи особливо привертає увагу політиків, оскільки конкретно показує зміну у транспорті та доводить, що (забруднюючі) вантажні автомобілі є заміненіми. Однак у більшості міст залізничні або водні мережі зазвичай недостатньо розвинені, щоб забезпечити значну частину міського вантажоперевезення (крім очевидних винятків, таких як Венеція).

Існують деякі дрібномасштабні програми з використанням інтермодального транспорту, такі як водні або залізничні концепції в розподілі по містах:

- Служба посилок (DHL човни) в Амстердамі: низька доступність доріг та розгалужена мережа каналів є конкретними обставинами у даному випадку.

- Доставка пива та напоїв в Утрехті (пивний човен): багато пабів та ресторанів розташовані на набережній каналу, нижче від дороги. Через це до цих приміщень важко дістатися вантажівкою, оскільки водієві доводиться переносити всі напої на один рівень нижче сходами. Вода знаходиться на тому ж рівні, що і приміщення, що робить водорозподіл ідеальним.

- Приклад Monoprix у Франції. Monoprix (велика компанія супермаркетів) постачає свої сухі продукти, безалкогольні напої та товари загального призначення (визначений обсяг) в Париж, використовуючи регіональні залізничні послуги та міські поставки вантажівками, що працюють на стисненому природному газі [11].

- Вантажний трамвай у Дрездені: це спеціалізований вантажний трамвай між логістичним центром Volkswagen та заводом Volkswagen. Таким чином, є лише один замовник (тобто Volkswagen), і повні трамваї з вантажем транспортуються

через центр міста, щоб не допустити понад 200 перевезень вантажними автомобілями на день.

- Існують і інші ініціативи з перевезень вантажними трамваями: в рамках однієї ініціативи трамвай використовується як пункт збору великогабаритних відходів (Цюріх); в іншій ініціативі – для внутрішніх вантажних перевезень підприємства громадського транспорту (Відень).

Загальна типологія поставок останньої милі

Логістика останньої милі наразі вважається однією з найдорожчих, найменш ефективних та найбільш забруднюючих частин усього логістичного ланцюга. Це пов'язано з рядом діючих осіб. Наприклад, при адресній доставці слід враховувати аспект безпеки та пов'язану з ним проблему відсутності одержувача дома, тим більше, що одержувачу можливо буде необхідно підписати підтвердження прийому. Це призводить до великих збоїв у доставці та збільшення частоти порожніх поїздок, що суттєво впливає на витрати, ефективність та екологічні показники. Іншою потенційною проблемою є відсутність критичної маси у певних районах чи регіонах, що також впливає на витрати. Той факт, що значна кількість адресних доставок здійснюється фургонами, також розцінюється як недолік, оскільки це призводить до збільшення викидів на одну посилку порівняно з доставкою вантажівкою, яка виконує більш консолідовані постачання.

На рис. 1.1. представлено загальну типологію логістики останньої милі, яка виконується безпосередньо в межах міста та передбачає доставку товару кінцевому споживачеві.

Формально «логістика останньої милі» може бути визначена як кінцевий етап у процесі доставки від виробника до споживача, за допомогою якого партія доставляється одержувачу додому або в пункт збору. Загальна структура ланцюга постачань проілюстрована на рис. 1.2.

Згідно рис. 1.2 стандартний логістичний ланцюг постачань може бути організований наступним чином. Сировина постачається до виробничого заводу чи фабрики, звідки готовий продукт (можливо, через ряд проміжних пунктів) відвантажується до складських приміщень (тобто до складів або розподільчих центрів). З цього моменту існують два варіанти розподілу: або через традиційні торгові точки, такі як магазини чи супермаркети, або через прямий продаж споживачам. Термін "остання миля" конкретно відноситься до кінцевої частини

системи, що включає прямі поставки споживачам. Способи доставки в логістиці останньої милі представлені на рис. 1.3.

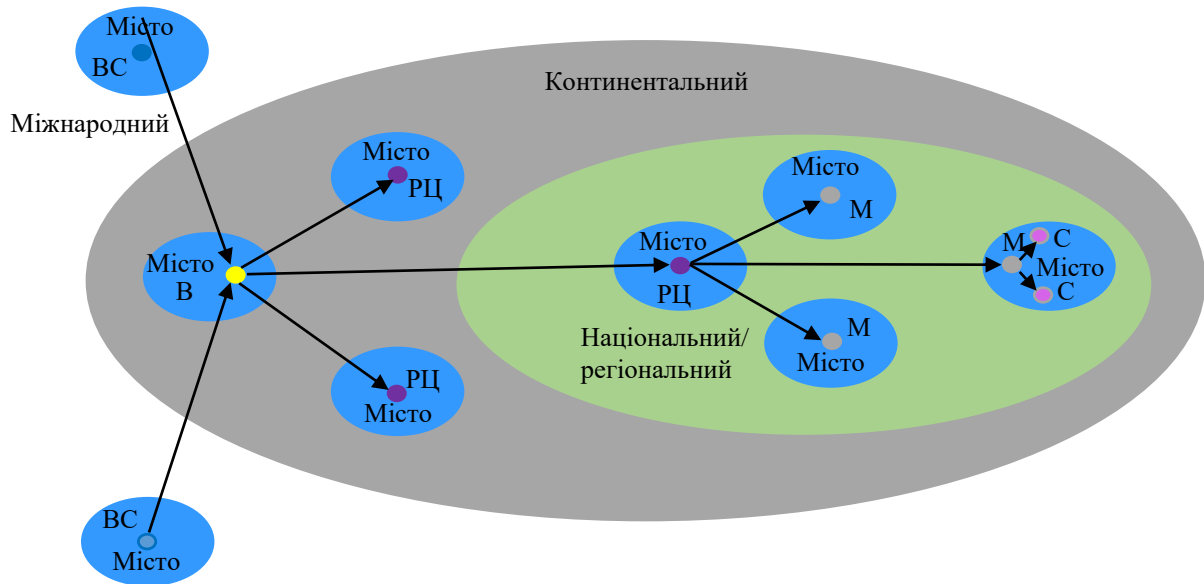
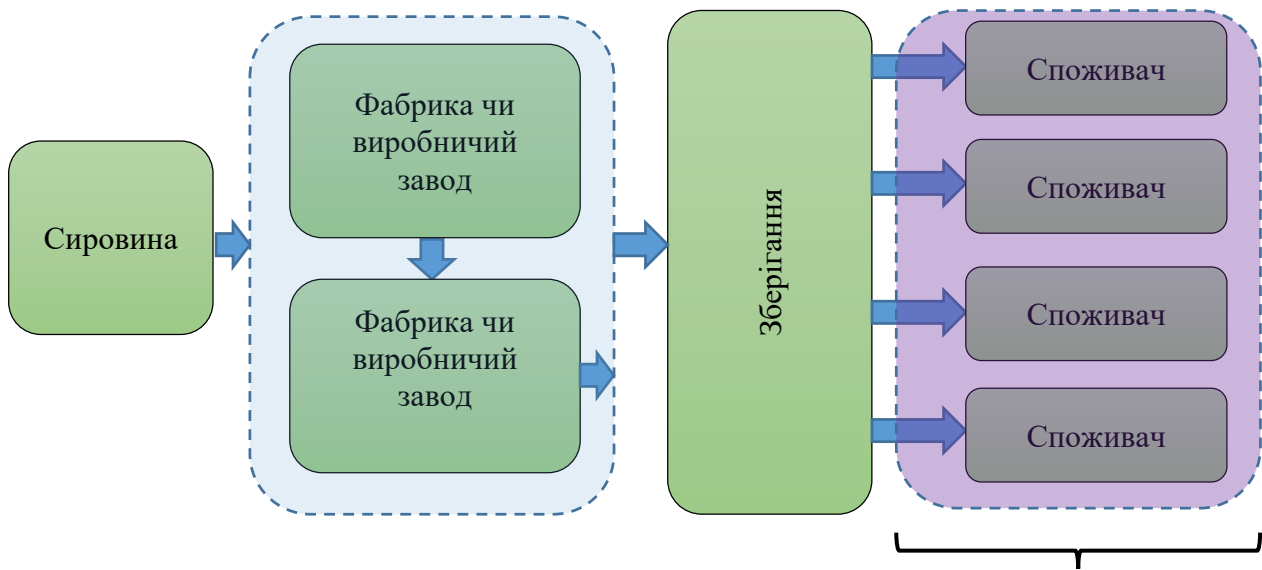


Рисунок 1.1 – Схема розподілу інтеграції далекомагістрального транспорту з міським вантажним транспортом [12]
 ВС – виробник сировини, В – виробник,
 РЦ – розподільчий центр, М – магазин, С – споживач.



ЛОГІСТИКА ОСТАННЬОЇ МИЛІ

Рисунок 1.2 – Загальна структура ланцюга постачань

Початкова точка логістики останньої милі		Зберігання - пункт збору постачальника			
Місце доставки	Забрати в розподільному центрі або магазині	Групування		Адресна доставка	
Вид доставки	Локери	Пункти збору	Пошта	З відвідуванням клієнта	Без відвідування клієнта
Специфіка	Група боксів з пін-кодом	Книжковий магазин, АЗС тощо.		Сусіди, тощо.	Без відвідування клієнта, застосовуючи приймальні бокси тощо.

Рисунок 1.3 – Способи доставки в логістиці останньої милі

Двома основними підходами щодо доставки без відвідування клієнта є концепція приймального боксу (reception box) та концепція транспортувального боксу (delivery box). Приймальний бокс – це індивідуальний для клієнта приймальний бокс, який встановлюється в гаражі або у дворі клієнта (рис. 1.4 а, 1.4 б). Транспортувальний бокс – це ізольований захищений бокс, оснащений стикувальним механізмом (рис. 1.4 в). Концепція приймального боксу забезпечує більш ефективну транспортування додому, а концепція транспортувального боксу вимагає менших вкладень для забезпечення отримання без відвідування клієнта.



а



б



в

Рисунок 1.4 – Приймальний бокс та транспортувальний бокс для доставки товарів без відвідування клієнта

1.2. Електронна комерція

1.2. E-commerce

Сучасні тенденції електронної комерції

Електронна комерція – це купівля та продаж продукції через Інтернет. Покупець замовляє товар в Інтернеті та проводить оплату в електронному вигляді. Продавець і покупець не зобов'язані зустрічатися віч-на-віч. Після підтвердження замовлення продавець здійснює відвантаження вантажу, а деталі відстеження надаються замовнику. Потім замовник отримує товар. У наші дні електронна комерція стала дуже поширеним методом ведення бізнесу, кількість онлайн-покупців зростає щороку (кількість онлайн-покупців на 2012 рік представлено на рис. 1.5). Тому, технологія "Інтернет речей" (IP) є сьогодні напрямком, що розвивається і має велику сферу застосування в електронній комерції. Коли є мережа гаджетів, які певним чином пов'язані між собою, це може розглядатися як частина IP.

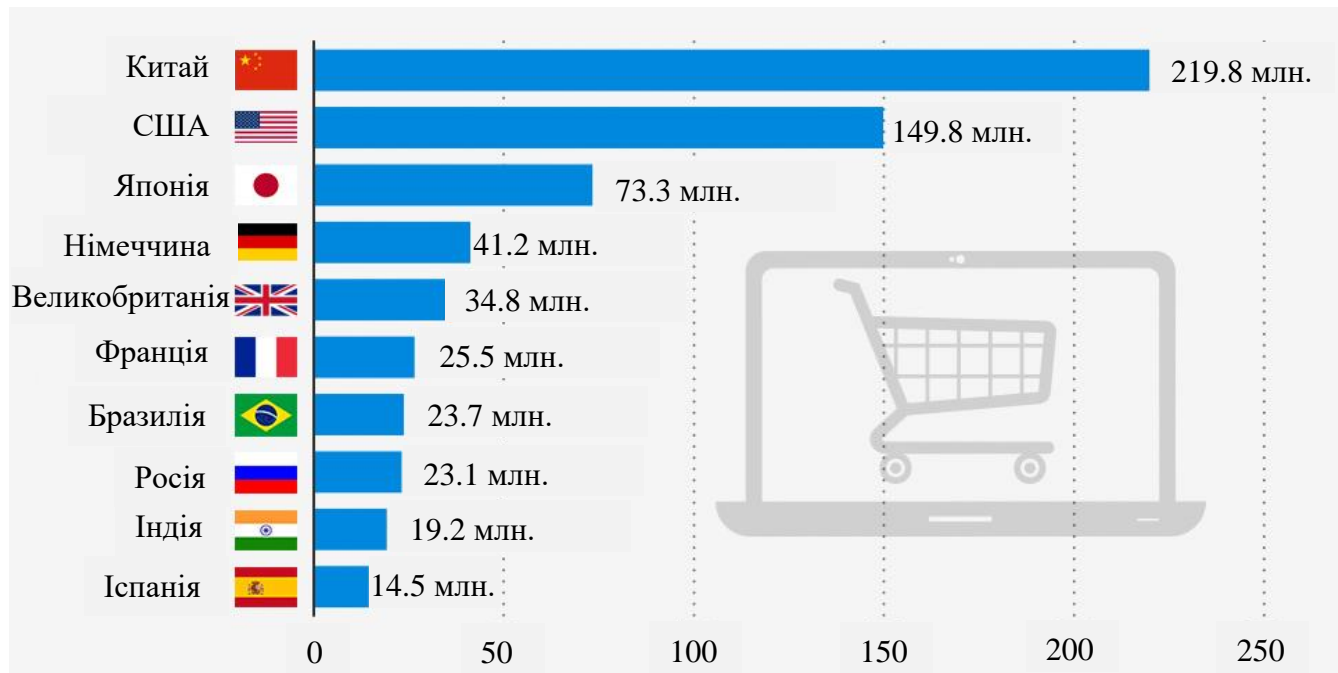


Рисунок 1.5 – Кількість онлайн-покупців на 2012 рік

Насправді, серед кількох видів діяльності, які можна здійснити без подорожей, покупка товарів є одною з них. За останні десятиліття онлайн покупки різко зросли. В Італії загальний обсяг продаж через електронні магазини щорічно збільшується приблизно на 18 %, а в США за останній рік він збільшився приблизно на 16 %.

Згідно [13] до потенційних наслідків онлайн покупок можна віднести зміни в обсягах товарів, що поставляються, зміни витрат на душу населення. Крім того, це впливає на доставку товарів, що транспортуються до житлових районів, і як наслідок впливає на поїздки кінцевих споживачів. Очікувана вигода від електронних покупок на попит на пасажирські перевезення – скорочення супутніх поїздки. З іншого боку, ця зміна може вплинути на вантажні перевезення. Перш за все, структура ланцюгів постачань повинна бути змінена. Закуплену продукцію потрібно доставляти кінцевим споживачам (додому або в пункти прийому), і результатом може стати збільшення комерційних транспортних засобів через перерозподіл поставок та можливих пропущених поставок (наприклад, 12 % поставок мають бути доставлені вдруге [14]).

Крім того, процес дистрибуції товарів через традиційні магазини повинен бути виконаний для інтеграції потреб електронної комерції. Насправді зростання адресних поставок та збільшення обсягу послуг, пропонованих роздрібними торговцями, все це призводить до змін у структурі міських вантажних потоків та руху транспортних засобів у містах. На ці зміни можуть впливати більш широкі фактори, наприклад, такі як впровадження нових споживчих технологій.

Основні тенденції електронної комерції:

1. Глобалізація. Глобалізація споживчих уподобань та локалізація покупного досвіду (локалізація способів оплати, валютна підтримка, а також маркетингові та мерчандайзингові кампанії).

2. Забезпечення відповідності у складному правовому світі. Компанії доведеться долати юридичні перешкоди за допомогою місцевих знань та суворої ділової практики.

3. Важливість BRIC країн. Купівельна спроможність ринку BRIC зростає. Що стосується розумних пристроїв, Міжнародна корпорація даних (МКД) прогнозує, що поставки в країни БРІК обійдуть більш розвинені ринки.

4. Розвиток соціальної комерції. Розвиток соціальних мереж буде все більше початковою точкою контактів та досліджень. Компанії будуть активно заохочувати покупців робити покупки та говорити про товари у своїх улюблених соціальних мережах. По мірі розвитку аналітики в соціальних мережах компанії шукатимуть кращі способи виміру рентабельності інвестицій (PI) від своїх соціальних зусиль:

$$PI = (\text{Прибуток} - \text{Інвестиційні витрати}) / \text{Інвестиційні витрати} \times 100. \quad (1.1)$$

5. Big Data та аналітика. Торговці електронної комерції збиратимуть та аналізуватимуть дані для виявлення моделей покупок, які мають прогнозовану цінність, та для розуміння досвіду споживачів у цифровому та фізичному контекстах.

6. Нові моделі монетизації. Торгівля іграми та програмним забезпеченням як послугами (ПЗяП) пропонують підприємствам нові способи залучення та винагородження своїх користувачів за використання програм. В цілому, бізнес-моделі, засновані на даних, будуть спрямовані на те, щоб персоналізувати те, що в іншому випадку могло бути безособовим досвідом в Інтернеті.

7. B2B копіює успіхи B2C. Компанії B2B все частіше надаватимуть такі ж зручні умови для покупок для своїх ділових клієнтів, як і B2C.

Особливості електронної комерції в рамках логістики останньої милі

- *Мобільність покупок*; це стосується торгових поїздок для кінцевих споживачів (пасажирські потоки); ці поїздки проростають від вибору товарів у магазині до їх покупки;

- *Мобільність поповнення запасів*; це стосується комерційних поїздок, що здійснюються з метою поповнення запасів магазинів (вантажні потоки для відновлення запасів);

- *Мобільність для забезпечення електронних покупок*; це стосується здійснення комерційних поїздок транспортних засобів, що виконуються з метою доставки online покупок кінцевим споживачам (вантажні потоки для доставки електронних покупок).

Структура товарних і вантажних потоків представлена на рис. 1.6.

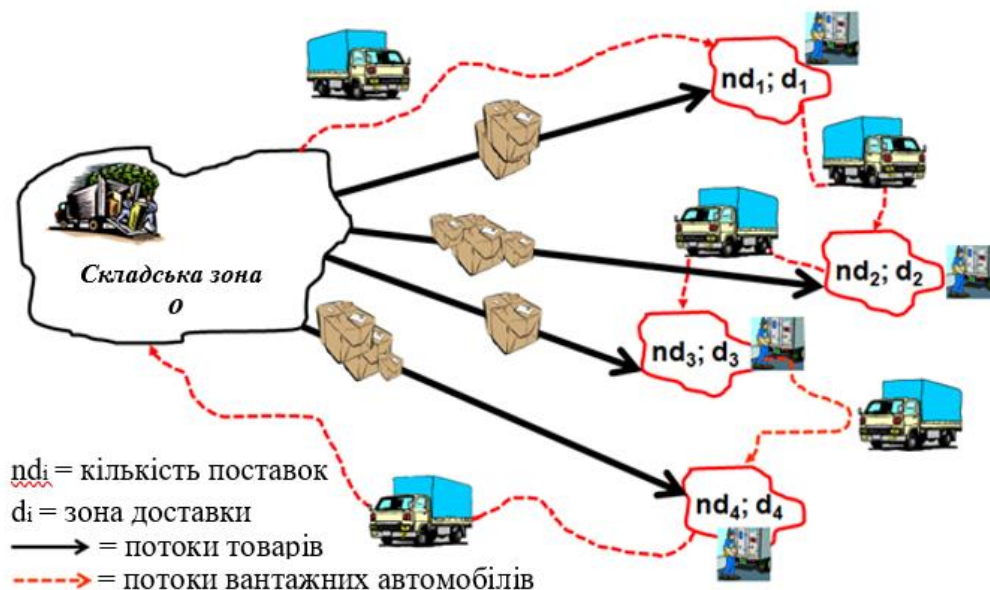


Рисунок 1.6 – Структура товарних і вантажних потоків
Загальна схема руху матеріальних потоків [15] представлена на рис. 1.7.



Рисунок 1.7 – Загальна схема руху матеріальних потоків

Як видно з рис. 1.7 існує дві альтернативи реалізації логістики останньої милі: через фізичні магазини та через онлайн канал постачання. Перевагою онлайн постачання є мінімізація кількості транспортно-складських операцій. Недоліком такого постачання є зниження рівня консолідації обсягу постачання в порівнянні з доставкою через фізичний магазин.

Інфраструктура електронної комерції та структура доставки

Інфраструктура електронної комерції та структура доставки складається з наступних блоків:

Підсистема моделей здійснення покупок. Дозволяє моделювати поведінку покупців у відношенні кінцевих споживачах та оцінювати кількість покупок, здійснених в магазині, та кількість електронних покупок; отже, можливо ідентифікувати товарні потоки, залучені кожною зоною руху;

Підсистема моделей поповнення запасів. Враховуючи кількість залучених магазинів у кожній зоні руху, можливо провести оцінку матриці відправлення - призначення (O-D) за типом товару та типом транспортного засобу, що використовується;

Підсистема доставки електронних покупок. Враховуючи кількість покупок, здійснених в режимі online кінцевими споживачами, що проживають у кожній зоні руху, дана підсистема дозволяє оцінити O-D матриці доставки електронних покупок за типом товару та типом використовуваного транспортного засобу.

Графічно дані підсистеми представлено на рис. 1.8 [15].

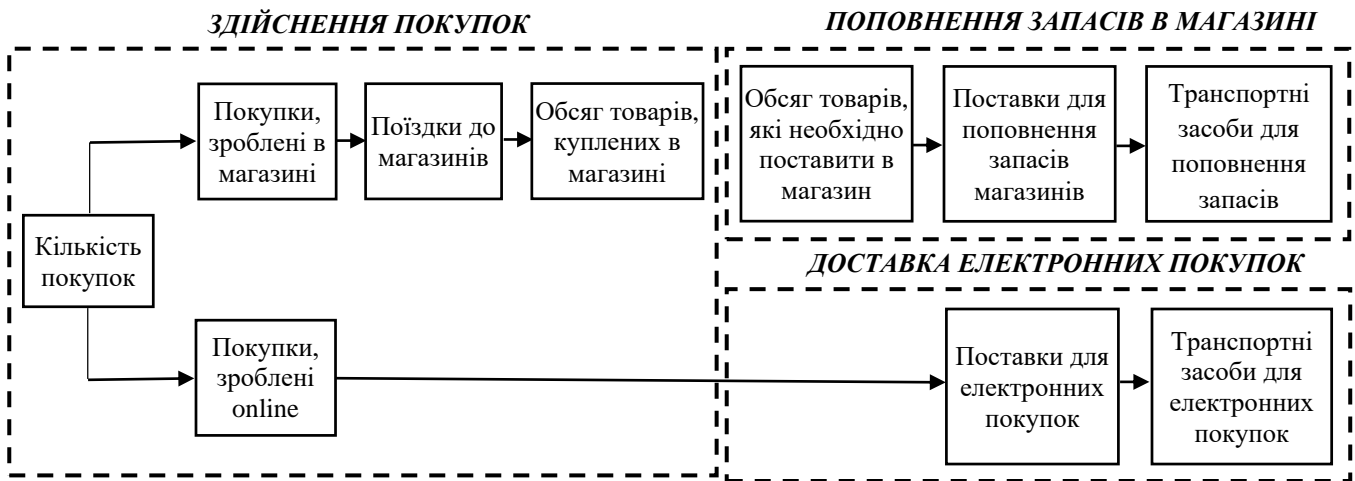


Рисунок 1.8 – Інфраструктура електронної комерції та структура доставки

Традиційно, моделі покупок відносяться до дослідження генерації поїздок при здійсненні покупок у магазині, нехтуючи online варіантом. Запропонована модель покупок дозволяє обчислити кількість товарів (розрізних за видами), які купуються в магазині (таким чином вимагають роздрібні торговці) в зоні d в межах міського району, та кількість покупок, здійснених онлайн, що повинні бути доставлені кінцевим споживачам (наприклад, додому). Тому перший етап моделювання відноситься до проведення оцінювання покупок, здійснених у магазині чи online. Вибір параметрів вибору включає:

GP – кількість покупок;

h – режим покупок (тобто в магазині або online).

Якщо припустити, що кінцевий споживач, що належить до категорії i , перебуває у зоні o , то послідовність, яка використовується для отримання кількості покупок, здійснених через режим покупок h , є такою:

$$GP_o^{i,h}[s] = n^i[o] \cdot m_o^{i,h}[s] = n^i[o] \cdot \sum_y y \cdot p^i[y, h / so], \quad (1.2)$$

де $GP_o^{i,h}[s]$ – кількість покупок товарів типу s , здійснених кінцевими споживачами, що належать до категорії i , які проживають у зоні o , через режим покупок h ;

$n^i[o]$ – кількість кінцевих споживачів, що належать до категорії i та проживають у зоні o ;

$m_o^{i,h}[s]$ – середня кількість покупок товарів типу s , здійснених за допомогою режиму покупок h кінцевим споживачем, що належить до категорії i та проживає у зоні o ;

$p^i[y, h / so]$ – ймовірність здійснення y покупки товарів типу s кінцевим споживачем, що належить до категорії i та проживає в зоні o , використовуючи режим покупок h ; її отримують за допомогою моделі вибору покупки:

$$p^i[y, h / so] = p^i[acq / so] \cdot p^i[y, h / acq, os], \quad (1.3)$$

де $p^i[acq / so]$ – ймовірність того, що кінцевий споживач, що належить до категорії i та проживає в зоні o , здійснює покупки товарів типу s ;

$p^i[y, h / acq, os]$ – ймовірність того, що внаслідок здійснення покупок товарів типу s кінцеві споживачі здійснювали y покупки в режимі h .

Ймовірність здійснення y покупки товарів типу s , використовуючи режим h із зони o :

$$p^i[h / so] = \frac{\exp(V_k)}{\sum_{k=1}^Z \exp(V_k)}, \quad (1.4)$$

де V_k – функція корисності придбання товарів типу s використовуючи режим h кількості y .

Z – кількість режимів покупки.

Загальний вид функції корисності:

$$V_k = \sum_{s=1}^w \beta_s \cdot X_s = ASA + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots + \beta_w \cdot X_w. \quad (1.5)$$

Функція корисності для певного виду товарів:

$$\begin{aligned}
V_k = & ASA + \beta_{male} \cdot Male + \beta_{female} \cdot Female + \beta_{young} \cdot Young + \\
& + \beta_{medium} \cdot Medium + \beta_{high} \cdot High + \beta_{comp} \cdot COMP + \\
& + \beta_{student} \cdot Student + \beta_{employee} \cdot Employee + \beta_{housewife} \cdot Housewife,
\end{aligned}
\tag{1.6}$$

де *male* – бінарна змінна, дорівнює 1, якщо кінцевим споживачем є чоловік, 0 в іншому випадку;

female – бінарна змінна, дорівнює 1, якщо кінцевим споживачем є жінка, 0 в іншому випадку;

young – бінарна змінна, дорівнює 1, якщо кінцевому споживачеві від 14 до 19 років, 0 в іншому випадку;

medium – бінарна змінна, дорівнює 1, якщо кінцевому споживачеві від 20 до 44 років, 0 в іншому випадку;

high – бінарна змінна, яка дорівнює 1, якщо кінцевому споживачеві від 45 до 65 років, 0 в іншому випадку;

comp – кількість членів домогосподарства;

student – бінарна змінна, яка дорівнює 1, якщо кінцевим споживачем є студент, 0 в іншому випадку;

employee – бінарна змінна, яка дорівнює 1, якщо кінцевий споживач працевлаштований, 0 в іншому випадку;

housewife – бінарна змінна, яка дорівнює 1, якщо кінцевим споживачем є домогосподарка, 0 в іншому випадку.

На основі представлених вище моделей розглянемо приклад розрахунку щодо вибору виду каналу покупки. Базою для виконання прогнозу є модель (1.6), яка відображає очікувану корисність вибору каналу покупки, та модель (1.4), яка безпосередньо є оцінкою ймовірності вибору. В табл. 1.2 наведено приклад чисельних значень параметрів функції корисності, загальний вид якої наведено вище. Вони поділяються на три групи:

- константа (ASA);
- демографічні атрибути;
- економічні атрибути.

За основу для даного прикладу взято результати досліджень, які проводились проф. Комі та проф. Нуццоло в м. Рим (Італія) в 2014 році. Розглянуто декілька видів товарів, які було придбано мешканцями м. Рим онлайн та фізичних магазинах (табл. 1.2). Так як кожен коефіцієнт моделі корисності повинен характеризуватися статистичною значимістю (*t*-test) для можливості його використання в моделі, то в табл. 1.2 наведено лише статистично значимі дані. Усі інші, які не є статистично значимими, позначено «-». В табл. 1.3 наведено чисельні значення атрибутів, які

буде використано в прикладі розрахунків для чотирьох транспортних районів на які поділено місто. Бінарні змінні представлено «+», що характеризує наявність оцінюваних характеристик в межах району обслуговування.

Таблиця 1.2 – Приклад чисельних значень параметрів моделі вибору каналу покупки [17]

Тип режиму покупки	Тип товару	Параметри функції корисності										
		ASA	<u>Демографічні</u>						<u>Економічні</u>			
			male	fem	young	medium	high	comp	student	housewife	employee	
Магазин	одяг	1.05	-	0.16	-	-	-	-	-	0.06	-	-
	електроніка	0.53	1.3	-	-	0.6	-	-	0.08	0.27	-	-
	гігієнічні товари	1.56	-	0.27	-	-	-	-	0.17	-	0.5	-
	інше	0.25	0.71	-	-	0.23	-	-	0.22	-	-	0.22
Онлайн	одяг	-	-	-	0.34	-	-	-	-	0.41	-	-
	електроніка	-	1.44	-	-	0.78	-	-	-	-	-	-
	гігієнічні товари	-	-	0.27	-	-	-	0.57	-	-	0.50	-
	інше	-	0.71	-	-	0.23	-	-	0.22	-	-	0.24

Таблиця 1.3 – Чисельні значення атрибутів вибору каналу покупки

Параметри	Номер зони			
	1	2	3	4
Кількість покупок в зоні походження (відправлення)	7000	12000	10000	3500
Частка одягу	0.15	0.2	0.17	0.1
Частка електроніки	0.1	0.12	0.15	0.25
Частка гігієнічних товарів	0.25	0.3	0.21	0.18
Частка «інших» товарів	0.5	0.38	0.47	0.47
Наявність жінок в зоні	+	+	+	+
Наявність чоловіків в зоні	+	+	+	+
Наявність жителів від 14 до 19 років в зоні	+	+	+	+
Наявність жителів від 20 до 44 років в зоні	+	+	+	+
Наявність жителів від 45 до 65 років в зоні	+	+	+	+
Середня кількість членів домогосподарства	1.75	2.05	2.4	2.2
Наявність студентів в зоні	+	+	+	+
Наявність працевлаштованих жителів в зоні	+	+	+	+
Наявність домогосподарок в зоні	+	+	+	+

На рис. 1.9 представлено приклад розрахунку функції корисності для варіанту покупки товару «одяг». Виходячи з того, що демографічні та економічні атрибути представлено як бінарні змінні (0 або 1), то в прикладі розрахунку на рис. 1.9 можна побачити, що у разі наявності статистично значимого параметру в моделі корисності його помножують на «1».

Отримані значення по функції корисності для кожного окремого товару з урахуванням альтернативних каналів покупки представлено в табл. 1.4. Як можна побачити, для товару «одяг» корисність вибору каналу «фізичний магазин» є більшою за покупку онлайн. Дані значення є базою для прогнозу ймовірності вибору каналу покупки на основі моделі (1.4). Приклад представлено на рис. 1.10.

Таблиця 1.4 – Приклад результатів розрахунку функції корисності

Параметри		Номер зони			
		1	2	3	4
Магазин	одяг	1.27	1.27	1.27	1.27
	електроніка	2.02	1.996	1.968	1.984
	гігієнічні товари	2.0325	1.981	1.922	1.956
	інше	0.585	0.519	0.442	0.486
Онлайн	одяг	0.75	0.75	0.75	0.75
	електроніка	2.22	2.22	2.22	2.22
	гігієнічні товари	0.2	0.2	0.2	0.2
	інше	0.315	0.249	0.172	0.216

Функція корисності (магазин)		=	1.05	+	0.16*1						0.06*1	=	1.27				
Тип режиму покупки	Тип товару	Параметри функції корисності															
		ASA	Демографічні					Економічні									
			male	fem	young	medium	high	comp	student	housewife	employee						
Магазин	одяг	1.05	-	0.16	-	-	-	-	0.06	-	-						
	електроніка	0.53	1.3	-	-	0.6	-	0.08	0.27	-	-						
	гігієнічні товари	1.56	-	0.27	-	-	-	0.17	-	0.5	-						
	інше	0.25	0.71	-	-	0.23	-	0.22	-	-	0.22						
Online	одяг	-	-	-	0.34	-	-	-	0.41	-	-						
	електроніка	-	1.44	-	-	0.78	-	-	-	-	-						
	гігієнічні товари	-	-	0.27	-	-	0.57	-	-	0.50	-						
	інше	-	0.71	-	-	0.23	-	0.22	-	-	0.24						
Функція корисності (online)		=						0.34*1	+						0.41*1	=	0.75

Рисунок 1.9 – Приклад розрахунку функції корисності

Одяг

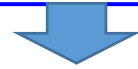
Імовірність онлайн-покупок для 1-ї зони

=

$$\frac{\text{Exp}(0.75)}{\text{Exp}(0.75) + \text{Exp}(1.27)}$$

=

0.37285



+

=

1

Імовірність покупки в магазині для 1-ї зони

=

$$\frac{\text{Exp}(1.27)}{\text{Exp}(0.75) + \text{Exp}(1.27)}$$

=

0.62715



Рисунок 1.10 – Приклад розрахунку імовірностей здійснення покупок

Таблиця 1.5 – Імовірність здійснення покупок за каналами (зона 1)

Тип товару	1 зона		Σ
	Online	Магазин	
Одяг	0.37285	0.62715	1
Електроніка	0.54983	0.45017	1
Гігієнічні товари	0.13794	0.86206	1
Інші	0.43291	0.56709	1

Таблиця 1.6 – Імовірність здійснення покупок за каналами (зона 2)

Тип товару	2 зона		Σ
	Online	Магазин	
Одяг	0.37285	0.62715	1
Електроніка	0.55577	0.44423	1
Гігієнічні товари	0.14412	0.85588	1
Інші	0.43291	0.56709	1

Таблиця 1.7 – Імовірність здійснення покупок за каналами (зона 3)

Тип товару	3 зона		Σ
	Online	Магазин	
Одяг	0.37285	0.62715	1
Електроніка	0.56267	0.43733	1
Гігієнічні товари	0.15161	0.84839	1
Інші	0.43291	0.56709	1

Таблиця 1.8 – Імовірність здійснення покупок за каналами (зона 4)

Тип товару	4 зона		Σ
	Online	Магазин	
Одяг	0.37285	0.62715	1
Електроніка	0.55873	0.44127	1
Гігієнічні товари	0.14729	0.85271	1
Інші	0.43291	0.56709	1

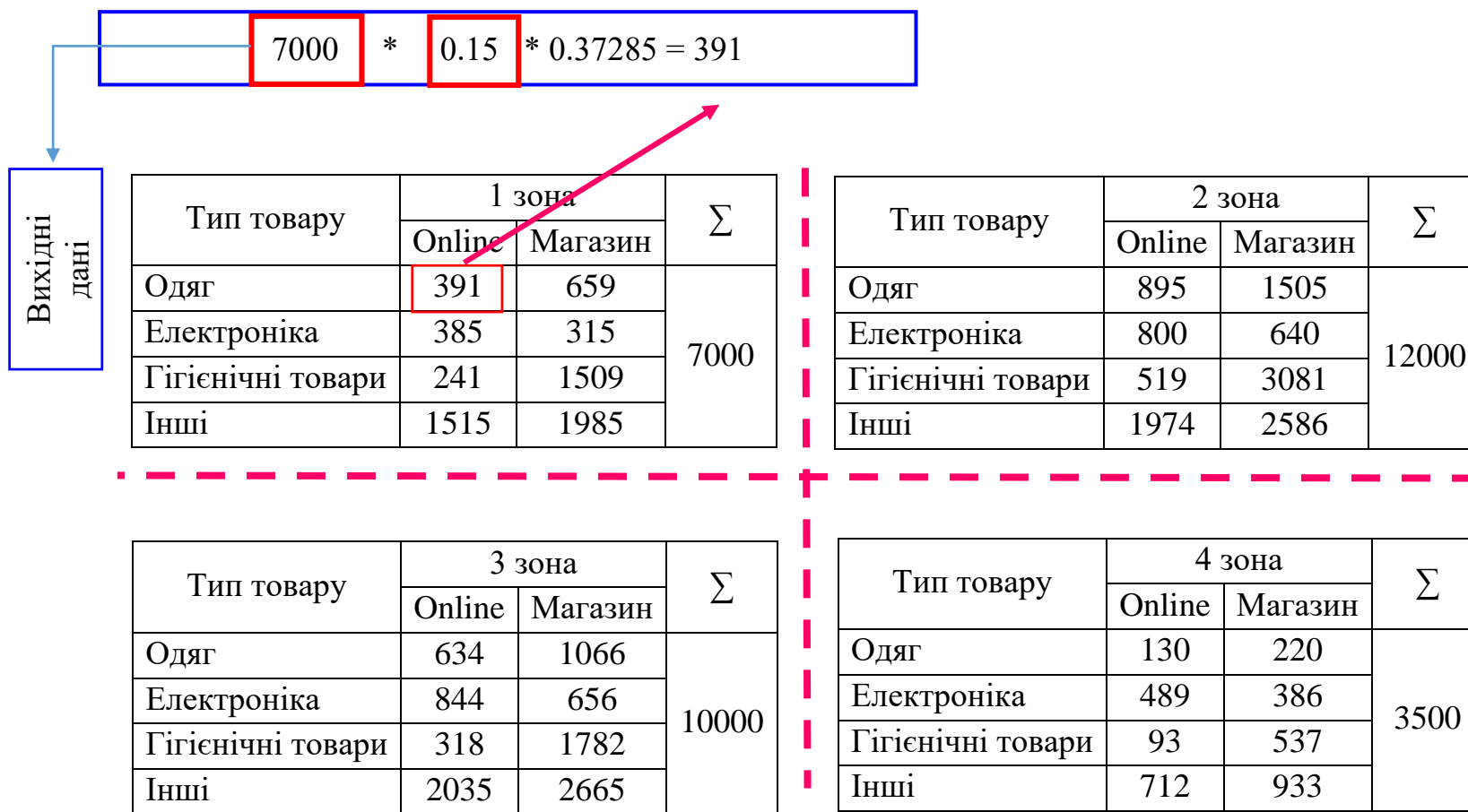


Рисунок 1.11 – Результати розрахунку кількості виконаних покупок з розподілом по районам та видам товарів

- 1.3. Характеристика суб'єктів перевезення вантажів та ймовірність здійснення вибору виду транспорту
- 1.3. Freight transportation entities characteristics and the probability of the transport mode choice

Характеристика суб'єктів перевезення вантажів

В рамках логістики останньої милі діють наступні суб'єкти транспортного обслуговування:

1. Кінцеві споживачі (мешканці, користувачі міста). Вони купують товари при відвідуванні магазинів або здійснюють електронні покупки чи використовують інші види споживання товарів (готелі, ресторани тощо).
2. Роздрібні торговці. Вони продають продукцію кінцевим споживачам.
3. Оптові продавці/дистриб'ютори. Вони купують велику кількість продукції у виробників, а потім продають їх роздрібним торговцям.
4. Логістичні та транспортні оператори. Вони надають інтегровані логістичні послуги, послуги зберігання, управляють логістичною інфраструктурою.
5. Перевізники та кур'єри. Вони надають транспортні послуги.

Визначення функції корисності

Найпоширенішою теоретичною основою або парадигмою для генерування моделей дискретного вибору є теорія випадкового корисного вибору [16, 17], яка в основному постулює про те, що:

1. Особи належать до однорідної популяції Q , діють раціонально і володіють досконалою інформацією, тобто вони завжди обирають той варіант, який максимально збільшує їх чисту особисту корисність (навіть був ідентифікований клас як «Homo Economicus»), в залежності від юридичних, соціальних, фізичних та/або бюджетних (як у часі, так і грошовому вираженні) обмежень.

2. Існує певний набір $A = \{A_1, \dots, A_j, \dots, A^N\}$ доступних альтернатив і безліч X векторів вимірюваних атрибутів індивідів та їх альтернатив. Даний індивід q наділений певним набором атрибутів $x \in X$ і, як правило, зіштовхується з безліччю вибору $A(q) \in A$. У подальшому ми будемо вважати, що набір індивідуального вибору визначений заздалегідь; це означає, що ефект обмежень уже вжито і він не впливає на процес вибору серед доступних альтернатив.

3. Кожному варіанту $A_j \in A$ відповідає утиліта U_{jq} для окремого q . Розробник моделі, який є спостерігачем системи, не володіє повною інформацією про всі

елементи, що розглядаються особою, яка робить вибір; отже, розробник моделі припускає, що U_{jq} може бути представлена двома компонентами:

а. вимірювана, систематизована або детермінована частина V_{jq} , яка є функцією вимірюваних атрибутів x ; та

б. випадкова частина ε_{jq} , яка відображає ідіосинкразії та особливі смаки кожної людини, разом з будь-якими помилками вимірювань чи спостережень, допущеними розробником моделі.

Таким чином, розробник моделі постулює, про:

$$U_{jq} = V_{jq} + \varepsilon_{jq}, \quad (1.7)$$

що дозволяє пояснити дві очевидні "іраціональності": дві особи з однаковими атрибутами та з одним і тим же набором даних можуть обрати різні варіанти, при цьому деякі люди не завжди можуть вибрати те, що являється найкращою альтернативою (з точки зору атрибутів, що розглядаються розробником моделі). В принципі, ми вимагаємо, щоб усі люди мали однаковий набір альтернатив та обмежень [18], і для цього нам може знадобитися сегментація ринку.

Хоча ми зазначаємо V як детерміновану частину і вона формується по індексу q , оскільки є функцією вимірюваних атрибутів x , вона може змінюватись від одного до Q (розмір вибірки). З іншого боку, без втрати загальності можна припустити, що залишки ε є випадковими змінними із середнім значенням 0 та певним розподілом ймовірностей, які слід задати. Популярним і простим виразом для V є:

$$V_{jq} = \sum_{k=1}^n \beta_{jk} \cdot x_{jkq}. \quad (1.8)$$

де β – постійні параметри для всіх індивідів в однорідному наборі (модель з фіксованими коефіцієнтами), але можуть варіюватися в залежності від альтернатив.

4. Індивід q обирає альтернативу максимальної корисності, тобто людина вибирає A_j , тоді і тільки тоді, коли:

$$U_{jq} \geq U_{iq}, \quad (1.9)$$

тобто:

$$V_{jq} - V_{iq} \geq \varepsilon_{iq} - \varepsilon_{jq}. \quad (1.10)$$

Схематично на рис. 1.12 представлено задачу вибору певною особою виду транспорту для виконання пересувань в межах міста.

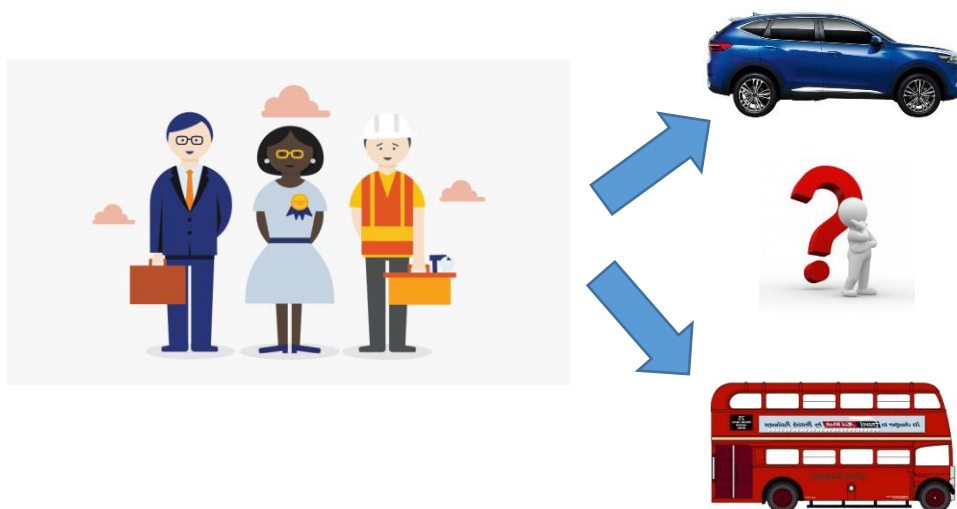


Рисунок 1.12 – Формальний вид процесу вибору виду транспорту

Транспортне обслуговування та функція корисності при здійсненні вибору

По суті, це є рішенням вантажовідправника щодо того, якого перевізника слід залучати для доставки товару до місця призначення. При моделюванні на цьому агрегованому рівні здійснення вибору часто розглядається за допомогою формулювання Multinomial Logit model (MNL) на основі узагальнених витрат. Це може бути дуже приблизним, оскільки інформація може охоплювати лише ті елементи здійснення вибору, які включені у вище узагальнену концепцію витрат. Рішення вантажовідправників, звичайно, залежать від тарифів, що стягуються перевізниками, які, в свою чергу, залежать від обсягів, які вони переміщують між кожною парою O-D.

Узагальнені витрати в економіці транспорту – це сума грошових та негрошових витрат на поїздку.

Грошові витрати можуть включати вартість проїзду в громадському транспорті або витрати на пальне та будь-яку плату за паркування, плату за проїзд.

Негрошові витрати відносяться до часу, витраченого на здійснення подорожі. Час конвертується у грошову вартість з використанням значення показника часу, який зазвичай варіюється залежно від доходу особи, що здійснює поїздку та цілі поїздки.

Узагальнена вартість еквівалентна ціні товару в теорії попиту та пропозиції, тому попит на поїздки може бути пов'язаний із узагальненою вартістю цих поїздок із використанням еластичності попиту за ціною. Пропозиція еквівалентна пропускній потужності (що стосується доріг, якості доріг) мережі.

У базовій формі узагальнена вартість (g) складається з наступного:

$$g = p + u(w), \quad (1.12)$$

де p – відноситься до грошових витрат на поїздку;

$u(w)$ – відноситься до немонетарних (часових) витрат на поїздку без заторів.

W являється функцією у транспортно-економічній моделі, w – це міра стандарту дорожнього руху або рівня обслуговування громадського транспорту, обидва пов'язані з пропускною спроможністю. Коли відомий час подорожі, $u(w)$ можна обчислити як добуток часу подорожі (t) в умовах без затору та альтернативної вартості часу мандрівника (τ).

У завантаженій системі кожен мандрівник накладає невелику затримку на кожного іншого мандрівника, збільшуючи час подорожі для всіх користувачів транспортної системи. В таких умовах функцію узагальнених витрат можна розширити, щоб відобразити цю затримку:

$$g = p + u(w) + v(q, w), \quad (1.13)$$

де $v(q, w)$ – додатковий термін, який відноситься до альтернативної вартості додаткового часу в подорожі, який мандрівник відчуває через затори;

q – попит на транспортне обслуговування;

w – міра потужності (яка має сенс при розгляді можливого розширення потужностей).

Ідея використання узагальненої формули функції витрат для попиту на вантажні перевезення пов'язана з [19]. Це можна інтерпретувати так (для простоти опущений верхній індекс k):

$$g = C_{ij} = f_{ij} + \beta_1 \cdot s_{ij} + \beta_2 \cdot \sigma_{s_{ij}} + \beta_3 \cdot \omega_{ij} + \beta_4 \cdot p_{ij}, \quad (1.14)$$

де f_{ij} – грошова плата за користування послугою від i до j ;

s_{ij} – час в дорозі (відстань) від дверей до дверей між i та j ;

$\sigma_{s_{ij}}$ – варіативність часу подорожі s ;

ω_{ij} – час очікування або затримка від запиту на обслуговування до фактичної доставки – це може бути довгий час, наприклад, для морського транспорту;

p_{ij} – ймовірність втрати або пошкодження вантажів у дорозі.

Все це залежить від використовуваного режиму та певною мірою від товару, який перевозиться. Константи β_n , як правило, пропорційні вартості товару. Наприклад, у випадку ймовірності втрати товару його вартість буде щонайменше рівною вартості товару, але, ймовірно, більше, через штраф за затримку доставки. Сучасні технології промислового виробництва, такі як ті, що підкреслюють "поставки точно в строк", намагаються мінімізувати ці елементи разом із витратами на зберігання. Мінімум для β_1 до β_3 є вартість процентної ставки, вживаної до вартості товару протягом розглянутого періоду часу.

В цілому, важливо враховувати відносний внесок транспортних (узагальнених) витрат в остаточну вартість товару. Наприклад, що стосується пшениці, вугілля, цементу та цегли, транспортні витрати є головним елементом їх кінцевої ціни. Однак у випадку із продуктами харчування, предметами народного вжитку, шоколадом чи електронікою транспортні витрати мають низький (прямий) внесок у ціну.

Ймовірність здійснення вибору виду транспорту

Ймовірність здійснення вибору виду транспорту виконується за допомогою моделі MNL. Загальна постановка задачі визначення функції корисності по вибору виду транспорту наведено на рис. 1.13.

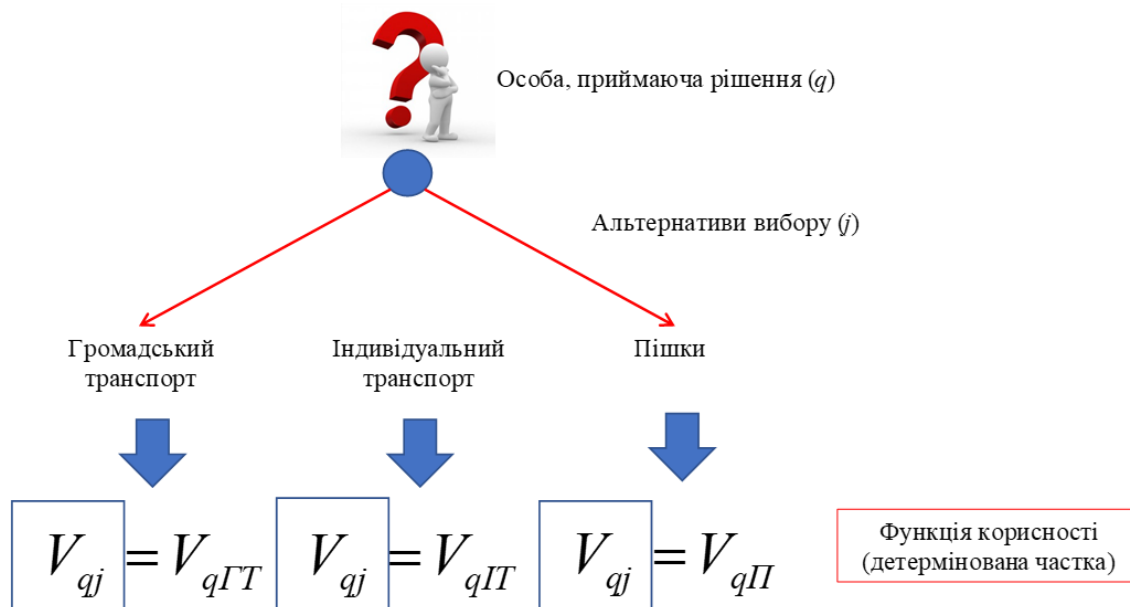


Рисунок 1.13 – Загальна постановка задачі вибору альтернативи

Якщо кількість альтернатив $j = 2$, то Logit Model описує бінарність альтернативи вибору та має вигляд Binomial Logit Model:

$$p(j) = \frac{\exp(V_j)}{\exp(V_1) + \exp(V_2)}, \quad (1.16)$$

де V_1 – детермінована величина функції корисності для 1-ї альтернативи;

V_2 – Детермінована величина функції корисності для 2-ї альтернативи.

Якщо кількість альтернатив $j > 2$, то Logit Model описує multi (багато) вибір, тому модель стає Multinomial Logit Model:

$$p(j) = \frac{\exp(V_j)}{\exp(V_1) + \exp(V_2) + \dots + \exp(V_j)} \quad (1.17)$$

Приклади розрахунків функції корисності №1 та №2 наведено в табл. 1.9 та 1.10.

Таблиця 1.9 – Приклад функції корисності № 1

Маршрути	Атрибути		Утиліта (утиліти)
	Час подорожі (t)	Вартість проїзду (c)	
Тарифікований ($i=1$)	t_1	c_1	U_1
Безоплатний ($i=2$)	t_2	c_2	U_2

Загальний вид функції корисності №1:

$$U_1 = -\beta_1 \cdot t_1 - \beta_2 \cdot c_1 + \varepsilon_1, \quad (1.18)$$

$$U_2 = -\beta_1 \cdot t_2 - \beta_2 \cdot c_2 + \varepsilon_2, \quad (1.19)$$

За умови:

$$\beta_1, \beta_2 > 0. \quad (1.20)$$

Таблиця 1.10 – Приклад функції корисності № 2

Вільний член (ASA)	Рівень обслуговування	Соціально-економічні характеристики
--------------------	-----------------------	-------------------------------------

CAR BUS	t_b = час поїздки (загальний) t_w = час очікування на зупинці (часний) t_p = час пішого підходу (загальний) c = грошові витрати (загальні)	DISP = кількість автомобілів /кількість ліцензованих водіїв REDD = 1 якщо дохід > 30 тис. євро за рік
------------	--	---

Загальний вид функції корисності № 2:

$$\text{choice set} = I^i = \{ \text{walking, car, bus} \} \quad (1.21)$$

$$V_{\text{walking}} = \beta_1 \cdot T_p, \quad (1.22)$$

$$V_{\text{CAR}} = \beta_1 \cdot T_{PA} + \beta_2 \cdot T_{BA} + \beta_3 \cdot C_A + \beta_4 \cdot DISP + \beta_5 \cdot REDD + \beta_6 \cdot CAR, \quad (1.23)$$

$$V_{\text{BUS}} = \beta_1 \cdot T_{PB} + \beta_2 \cdot T_{BB} + \beta_3 \cdot C_B + \beta_7 \cdot T_{WB} + \beta_8 \cdot BUS. \quad (1.24)$$

На основі вищезазначеного представимо приклад розрахунку, а саме: визначення матриці ймовірностей вибору вантажного транспортного засобу або вантажного велосипеда. Вихідні дані представлені в табл. 1.11, 1.12 та 1.13.

Безпосередньо функція корисності має наступний вигляд:

$$V_j = \beta_{\text{cost}} \cdot \text{Cost} + \beta_{\text{time}} \cdot \text{Time} + \beta_{\text{delay}} \cdot \text{Delay} + \beta_{\text{damage}} \cdot \text{Damage}, \quad (1.25)$$

де V_j – корисність вибору j -го виду транспорту;

β_{cost} – параметр витрат на транспортування;

β_{time} – параметр часу транспортування;

β_{delay} – параметр ймовірності затримки доставки;

β_{damage} – параметр ймовірності пошкодження товару під час транспортування;

Cost – витрати на транспортування, грн;

Time – час транспортування, год;

Delay – ймовірність затримки постачання;

Damage – ймовірність пошкодження товару під час транспортування.

Таблиця 1.11 – Загальна характеристика видів транспорту

Вид	Собівартість транспортування, грн/км	Швидкість доставки, км/год	Ймовірність затримки постачання	Ймовірність втрати або пошкодження товару
-----	--------------------------------------	----------------------------	---------------------------------	---

Вантажний транспортний засіб	15	35	0,1	0,1
Вантажний велосипед	5	10	0,1	0,5

Таблиця 1.12 – Коефіцієнти функції корисності

Коефіцієнти	B_{cost}	β_{time}	β_{delay}	β_{damage}
	-0,375	-18,874	-14,4	-15,389

Таблиця 1.13 – Матриця відстаней між транспортними районами, км

	1	2	3
1	0,1	2,6	4
2	2,6	0,1	3,1
3	4	3,1	0,1

Матриці часу доставки представлені в табл. 1.14 та 1.15.

Таблиця 1.14 – Матриця часу доставки для вантажного транспортного засобу, год

Матриця часу доставки	Вантажний транспортний засіб		
	1	2	3
1	0,0029	0,0743	0,1143
2	0,0743	0,0029	0,0886
3	0,1143	0,0886	0,0029

Таблиця 1.15 – Матриця часу доставки для вантажного велосипеда, год

Матриця часу доставки	Вантажний велосипед		
	1	2	3
1	0,0100	0,2600	0,4000
2	0,2600	0,0100	0,3100
3	0,4000	0,3100	0,0100

Відповідно, значення функції корисності для кожного виду транспорту з розподілом по транспортним районам представлено в табл. 1.16 та 1.17.

Таблиця 1.16 – Функція корисності для вантажного транспортного засобу

Узагальнена функція витрат	Вантажний транспортний засіб		
	1	2	3
1	-3,5953	-19,0060	-27,6359
2	-19,0060	-3,5953	-22,0881
3	-27,6359	-22,0881	-3,5953

Таблиця 1.17 – Функція корисності для вантажного велосипеда

Узагальнена функція витрат	Вантажний велосипед		
	1	2	3
1	-12,39074	-21,79674	-27,0641
2	-21,79674	-12,39074	-23,67794
3	-27,0641	-23,67794	-12,39074

Експоновані значення функції корисності наведено в табл. 1.18 та 1.19.

Таблиця 1.18 – Експоненціальна матриця для вантажного транспортного засобу

Експоненціальна матриця	Вантажний транспортний засіб		
	1	2	3
1	0,02745174	5,56946E-09	9,95105E-13
2	5,56946E-09	0,02745174	2,55424E-10
3	9,95105E-13	2,55424E-10	0,02745174

Таблиця 1.19 – Експоненціальна матриця для вантажного велосипеда

Експоненціальна матриця	Вантажний велосипед		
	1	2	3
1	4,1569E-06	3,41819E-10	1,76283E-12
2	3,41819E-10	4,1569E-06	5,20956E-11
3	1,76283E-12	5,20956E-11	4,1569E-06

Матриці ймовірностей для вантажних транспортних засобів представлено в табл. 1.20 та 1.21.

Таблиця 1.20 – Матриця ймовірності вибору вантажного транспортного засобу

Матриця ймовірності	Вантажний транспортний засіб		
	1	2	3
1	0,9998	0,9422	0,3608
2	0,9422	0,9998	0,8306
3	0,3608	0,8306	0,9998

Таблиця 1.21 – Матриця ймовірності вибору вантажного велосипеда

Матриця ймовірності	Вантажний велосипед		
	1	2	3
1	0,0002	0,0578	0,6392
2	0,0578	0,0002	0,1694
3	0,6392	0,1694	0,0002

Таким чином, в результаті формалізації функції корисності виконано прогноз ймовірності вибору виду транспорту для виконання перевезень в рамках логістики останньої милі. Отримані значення можуть бути застосовані для

прогнозу вибору постачальником виду транспорту для виконання доставки в межах міста.

Тема 2. Моделювання вантажних транспортних систем Theme 2. Freight Transportation Simulation

Метою теми є вивчення підходів щодо моделювання і аналізу сценаріїв розвитку вантажних транспортних.

- 2.1. Вантажні транспортні системи
- 2.2. Прогнозування попиту на вантажні перевезення
- 2.3. Оцінка сценаріїв вантажних перевезень

2.1. Вантажні транспортні системи 2.1. Logistics and supply chain

Ланцюг постачання: структура і функціональні можливості логістичної мережі, проблеми класифікації, стратегії розподілу

Логістика займається плануванням та контролем матеріальних потоків та, відповідною, інформацією в організаціях, як у державному, так і в приватному секторах. У загальному виді, її місія полягає у доставці потрібних матеріалів у визначене місце у потрібний час з оптимізацією показника ефективності (наприклад, мінімізувавши загальні експлуатаційні витрати) і з задоволенням заданого набору обмежень (наприклад, бюджетне обмеження). У військовому контексті логістика пов'язана із забезпеченням військ продовольством, зброєю, боєприпасами і запасними частинами, а також з транспортуванням самих військ. В цивільних організаціях проблеми логістики виникають у фірм, які виробляють і поширюють фізичні товари. Ключове питання полягає у вирішенні завдання, як і коли сировина, напівфабрикати та готова продукція повинні придбатися, переміщатися і зберігатися. Проблеми логістики виникають також у фірм і громадських організацій, які виробляють послуги. Це стосується збору сміття, доставки пошти, комунальних послуг і післяпродажного обслуговування [20].

Значення логістики

Логістика є одним з найважливіших напрямків діяльності в сучасних суспільствах. Вченими підраховано, що загальні витрати на логістику, понесені організаціями США в 1997 році, склали 862 мільярдів доларів, що відповідає приблизно 11% валового внутрішнього продукту (ВВП) США. Ця вартість вище, ніж сукупні річні витрати уряду США на соціальне забезпечення, охорону здоров'я і оборону. Ці цифри аналогічні тим, які спостерігаються для інших країн

Північноамериканської угоди про вільну торгівлю (НАФТА) і для країн Європейського союзу (ЄС) [20]. Крім того, витрати на логістику складають значну частину продажів компанії, як показано в табл. 2.1 для фірм ЄС в 1993 році.

Таблиця 2.1 – Витрати на логістику (у відсотках від ВВП)
в країнах Європейського союзу [20]

Сектор	Транспорт	Складування	Інвентаризація	Адміністрація	Загальні
Їжа/напої	3,7	2,2	2,8	1,7	10,4
Електроніка	2,0	2,0	3,8	2,5	10,3
Хімічна промисловість	3,8	2,3	2,6	1,5	10,2
Автомобільна промисловість	2,7	2,3	2,7	1,2	8,9
Фармацевтика	2,2	2,0	2,5	2,1	8,8
Газети	4,7	3,0	3,6	2,1	13,4

Логістичні системи

Система логістики складається з набору об'єктів, пов'язаних транспортними послугами. Об'єкти – це місця, де обробляються матеріали, наприклад, виготовляються, зберігаються, сортуються, продаються або споживаються. Цими об'єктами можуть виробничі та складальні центри, склади, розподільні центри, перевалочні пункти, транспортні термінали, торгові точки, центри сортування пошти, сміттєспалювальні заводи, звалища тощо [20].

Транспортні послуги направлені на переміщення матеріалів між об'єктами з використанням транспортних засобів та різного роду устаткування. Наведені нижче приклади наочно показують поняття логістичної системи [20].



ExxonMobil Chemical Company - одна з найбільших нафтохімічних компаній в світі. Її продукція включає в себе олефіни, ароматичні сполуки, синтетичний каучук, поліетилен, поліпропілен і орієнтовані поліпропіленові пакувальні плівки. Компанія управляє 54 виробничими підприємствами в більш ніж 20 країнах і продає свою продукцію більш ніж в 130 країнах.

Завод, розташований в Бріндізі (Італія), займається виробництвом орієнтованих поліпропіленових пакувальних плівок для європейського ринку. Плівки, виготовлені в Бріндізі, які необхідно металізувати, відправляють на сторонні заводи, розташовані в Італії та Люксембурзі, де на одну сторону наноситься дуже тонке алюмінієве покриття. Як правило, італійські кінцеві користувачі обслуговуються безпосередньо з заводу в місті Бріндізі, в той час як клієнти і сторонні заводи за межами Італії поповнюються через дистрибутивний центр, розташований в Мілані (Італія). Зокрема, цей склад поповнює три

дистрибутивні центри в містах Ерсталь, Атю і Зебрюг (Бельгія), які, в свою чергу, поповнюють клієнтів, розташованих у Східній Європі, Центральній Європі і Великобританії відповідно.



Pfizer – найбільша фармацевтична корпорація в світі. Компанія виробляє і поширює широкий асортимент фармацевтичної продукції, що відповідає основним медичним потребам, широкий асортимент споживчих товарів для догляду за собою, а також товари для здоров'я для худоби і домашніх тварин.

Система логістики Pfizer включає 58 виробничих майданчиків на п'яти континентах, які виробляють ліки для більш ніж 150 країн. Оскільки виробництво фармацевтичних продуктів вимагає високоспеціалізованих і дорогих машин, кожен завод Pfizer виробляє велику кількість обмеженої кількості фармацевтичних інгредієнтів або ліків для міжнародного ринку. Наприклад, ALFA10, серцево-судинний продукт, виробляється на унікальному заводі для міжнародного ринку, що включає 90 країн. З цієї причини вантажні перевезення грають ключову роль в ланцюгу поставок Pfizer.



DB Cargo AG – міжнародний перевізник, який базується в місті Майнц (Німеччина), основною діяльністю якого є залізничний транспорт. Ця логістична компанія перевозить широкий асортимент продукції, такої як сталь, вугілля, залізна руда, папір, деревина, автомобілі, пральні машини, комп'ютери, а також хімічні продукти. У 2001 році компанія перевезла близько 500 000 контейнерів. Крім надання високоякісних залізничних перевезень, DB Cargo AG також займається розробкою інтегрованих логістичних систем. Це передбачає тісну співпрацю з третіми сторонами, такими як автоперевезення, водний транспорт, експедиторські і перевалочні компанії.

Морський термінал Джоя-Тауро є найбільшим контейнерним перевалочним вузлом на Середземному морі і одним з найбільших в світі. У 1999 році його трафік склав 2253 мільйона двадцяти-футових еквівалентних одиниць (TEU). Термінал пов'язаний з майже 50 кінцевими портами на Середземному морі. Всередині терміналу знаходиться залізнична станція, де можна завантажувати або розвантажувати вагони, а також створювати автоколони.

Система управління відходами регіонального муніципалітету Гамільтон-Вент-Вату (Канада) розділена на дві основні підсистеми: система збору твердих відходів і регіональна система поховання. Кожне місто відповідає за свою власну збірку сміття з використанням спеціального обладнання, використовуючи або свою робочу силу, або підрядчиків. З іншого боку, муніципальна влада відповідає за обробку і видалення зібраних відходів. Для цілей планування обсягів твердих побутових відходів регіон розділений на 17 районів. Регіональне

управління складається з об'єкта з переробки відходів, полігону площею 220 гектар, складу небезпечних відходів та трьох перевантажувальних станцій.

Ланцюги поставок

Ланцюг поставок – це складна система логістики, в якій сировина перетворюється в готову продукцію, а потім поширюється серед кінцевих користувачів (споживачів або компаній). У нього входять постачальники, виробничі центри, склади, торгові центри та торговельні точки. На рис. 2.1 наведено типовий ланцюг поставок, в якому системи виробництва і розподілу складаються з двох етапів [20].

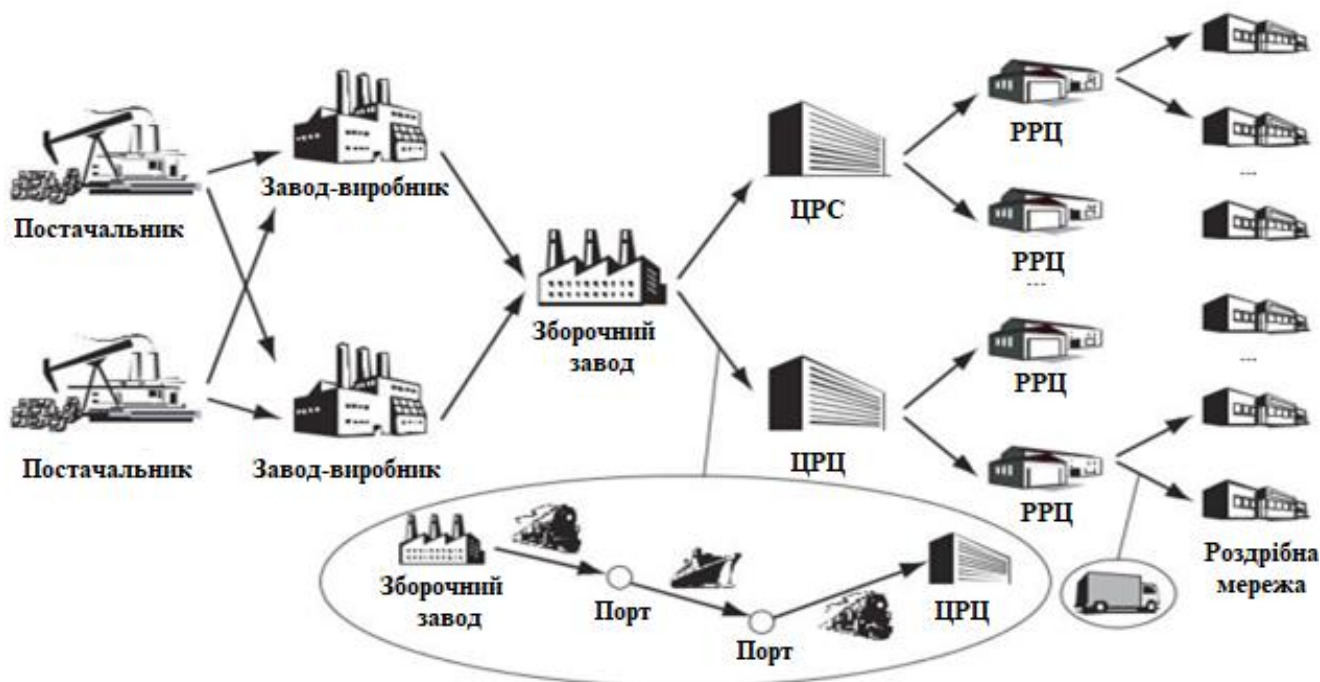


Рисунок 2.1 – Ланцюг поставок [20]

У виробничій системі компоненти і напівфабрикати виробляються в двох виробничих центрах, а готова продукція збирається на заводі. Розподільна система, що наводиться на рисунку, складається з двох центральних розподільчих центрів, що забезпечуються матеріальним потоком (готовою продукцією) безпосередньо із заводу, де виконується збірний процес. Центральні розподільчі центри, в свою чергу, поповнюють два регіональних розподільчих центри кожен. Звичайно, залежно від характеристик продукту і попиту може виявитися більш доцільним проектувати ланцюг поставок без окремих виробничих і складальних центрів (або навіть без фази збірки), без регіонального розподільчого центру або з різними типами устаткування (наприклад, крос-доки) [20]. Кожна з транспортних ланок на рис. 2.1 може простою транспортною

лінією, що використовує один вид транспорту, наприклад, автомобільний, або більш складним процесом транспортування, що включає додаткові об'єкти, такі як, наприклад, портові термінали і компанії автомобільних перевезень.

Аналогічно кожний учасник ланцюга поставок може містити деяку кількість пристроїв, обладнання і підсистем. Наприклад, виробничі підприємства містять спеціальні механізми, стрічкові конвеєри або інше обладнання для вантажно-розвантажувальних робіт, в той час як дистрибутивні центри містять системи стелажів, різного роду навантажувачі або автоматичні системи зберігання. Логістика, зазвичай, не пов'язана з детальним плануванням матеріальних потоків всередині виробничих і складальних підприємств. Такі питання, як сукупне планування виробництва і машинне планування, виходять за рамки логістики. Вона займається проектуванням та експлуатацією дистрибутивних компаній і транспортних терміналів [20].

Товарні і інформаційні потоки в ланцюзі поставок

Матеріальний потік проходить через ланцюг поставок від джерел сировини до споживачів, за винятком застарілих, пошкоджених і нефункціонуючих продуктів, які повинні бути повернуті до їх джерел для ремонту або утилізації. Інформація йде зворотнім шляхом. Вона перетинає ланцюги поставок від споживачів до постачальників сировини. В системі «зробити на замовлення» (*make-to-order MTO*) замовлення кінцевих користувачів збираються продавцями, а потім передаються виробникам, які, в свою чергу, замовляють необхідні компоненти і напівфабрикати у своїх постачальників. Аналогічним чином, в системі «виробляти на склад» (*make-to-stock MTS*) інформація щодо минулих продажів використовуються для прогнозування майбутнього попиту на продукцію і пов'язаних з нею потреб в матеріалах [20].

Товарні і інформаційні потоки не можуть миттєво проходити через канал поставок. По-перше, перевезення вантажів між джерелами сировини, виробничими підприємствами і місцями споживання зазвичай займає багато часу. По-друге, виробництво може зайняти багато часу не тільки через саму переробку, але і через обмежену виробничу потужність (не всі продукти, які можуть знадобитися, можуть бути виготовлені одночасно). Нарешті, інформація може передаватися повільно, тому що збір, передача та обробка замовлення вимагають часу, або тому що роздрібні продавці розміщують свої замовлення періодично (наприклад, один раз на тиждень), а дистриб'ютори приймають рішення про поповнення на періодичній основі (наприклад, два рази в тиждень) [20].

Ступінь вертикальної інтеграції і сторонньої логістики

Відповідно до класичної економічної концепції, ланцюг поставок вважається вертикально інтегрованим, якщо його компоненти (джерела сировини, заводи, транспортна система тощо) належать одній фірмі. Повністю вертикально інтегровані системи досить рідкісні. Найчастіше ланцюг поставок управляється кількома незалежними компаніями. Це той випадок, коли виробники купують сировину у сторонніх постачальників або використовують підрядників для виконання певних послуг, таких як контейнерні перевезення і складування. Відносини між компаніями ланцюга поставок можуть бути засновані, як на транзакціях, так і функціонально, або вони можуть бути стратегічними альянсами. Стратегічні альянси включають сторонню логістику (3PL) і керовані постачальниками поставки. 3PL – це довгострокове зобов'язання використовувати сторонню компанію для повного або часткового розповсюдження продукції компанії [20]. Це дозволяє компанії зосередитися на своєму основному бізнесі, залишаючи дистрибуцію логістичного аутсорсеру. 3PL підходить, коли компанія не хоче вкладати великі кошти в інфраструктуру транспортування і складування або коли компанія не може скористатися перевагами ефекту масштабу через низький попит. З іншого боку, 3PL призводить до того, що компанія втрачає контроль над дистрибуцією і може привести до більш високих витрат на логістику.

Кероване роздрібним торговцем і кероване постачальником поповнення запасів

Традиційно клієнти (як роздрібні, так і кінцеві споживачі) виконують моніторинг своїх рівнів запасів і розміщують замовлення на закупівлю у постачальників (системи, керовані роздрібними продавцями). В останні роки спостерігається зростання кількості систем, керованих постачальниками, в яких вони відстежують продажі (або споживання) і запаси за допомогою електронного обміну даними (*electronic data interchange EDI*) та вирішують, коли і як поповнювати запаси своїх клієнтів. Таким чином, постачальники можуть домогтися економії коштів за рахунок кращої координації поставок клієнтам, в той час як клієнтам не потрібно виділяти додаткові ресурси для управління запасами [20]. Поставки, керовані постачальниками, популярні в газовій і безалкогольної промисловості, хоча в інших секторах вони також набирають популярність. У деяких системах, керованих постачальником, роздрібний продавець володіє товарами, що перебувають на полицях, в той час як в інших запаси належать продавцю. У першому випадку роздрібному продавцю виставляється рахунок тільки в той момент, коли він робить продаж покупцеві.

Принцип роботи логістичних систем

Логістичні системи функціонують на підставі трьох основних видів діяльності [20]:

- 1) обробка замовлень;
- 2) управління запасами;
- 3) перевезення вантажів.

1. *Обробка замовлення.* Обробка замовлень жорстко пов'язана з інформаційними потоками в логістичній системі і включає в себе ряд операцій. Клієнти можуть запросити готову продукцію, заповнивши форму замовлення. Ці замовлення передаються і перевіряються. Потім перевіряються наявність запитуваних товарів і кредитний статус клієнта. На наступному етапі, товари вилучаються зі складу (або виробляються), упаковуються і доставляються разом з їх відвантажувальною документацією. Після цього, клієнти інформуються про стан їх замовлень.

Традиційно обробка замовлень займала дуже багато часу (до 70% від загального часу циклу замовлення). Проте, в останні роки він значно зменшився завдяки досягненням в області електроніки та інформаційних технологій. Сканування штрих-коду дозволяє ритейлерам швидко ідентифікувати необхідні продукти і оновлювати записи про рівень запасів. Портативні комп'ютери та модеми дозволяють продавцям в режимі реального часу перевіряти наявність товару на складі і миттєво вводити замовлення. EDI дозволяє компаніям вводити замовлення на промислові товари безпосередньо на комп'ютері продавця без будь-яких документів.

2. *Управління запасами.* Управління запасами є ключовим питанням у плануванні логістичної системи і в логістичних операціях.

Запаси – це матеріальні цінності, які очікують виробництва, транспортування або продажу. До типових прикладів можна віднести:

- компоненти і напівфабрикати, які очікують виробництва або збірки на заводі;
- товари (сировина, комплектуючі, готова продукція), що транспортуються в ланцюзі поставок (запаси в дорозі);
- готова продукція, що зберігається в дистрибутивному центрі до продажу;
- готова продукція, що зберігається кінцевими користувачами (споживачами або промисловими користувачами) для задоволення майбутніх потреб.

Рівень запасів потрібно постійно контролювати. Є кілька причин, за якими логісту доцільно проводити контроль запасів на деяких об'єктах ланцюга поставок [20]:

1. Поліпшення рівня обслуговування. Наявність запасу готової продукції на складах поруч з клієнтами скорочує строки поставки.

2. Зниження загальних витрат на логістику. Вантажні перевезення характеризуються масштабною економією через високі постійні витрати. В результаті, замість того, щоб часто транспортувати невеликі замовлення на великі відстані, компаніям може бути зручніше задовольняти попит клієнтів з локальних складів (поповнення з низькою частотою).

3. Компенсація можливої випадковості в споживчому попиті і часу виконання замовлення. Запаси готової продукції (страхові запаси) допомагають задовольнити споживчий попит, навіть якщо виникають несподівані піки попиту або затримки доставки (наприклад, через несприятливі погодні умови або умови руху).

4. Робити сезонну продукцію доступною протягом усього року. Сезонні продукти можуть зберігатися на складах під час виробництва і продаватися в наступні місяці.

5. Спекуляція на цінових моделях. Товари, ціна яких значно варіюється протягом року, можуть бути придбані за низьких цін, потім збережені і, нарешті, продані після підвищення цін.

6. Подолання неефективності в управлінні логістичною системою. Запаси можуть використовуватися для подолання неефективності в управлінні логістичною системою (наприклад, дистриб'юторська компанія може тримати запас, тому що вона не може координувати попит і пропозицію).

Утримання запасів може бути дуже дорогим заходом за багатьма причинами. По-перше, компанія, яка має запаси, несе альтернативні (або капітальні) витрати, представлені прибутковістю інвестицій, яку фірма освоїла би, якби гроші були вкладені у щось інше. По-друге, складські витрати повинні бути понесені, незалежно від того, чи є склад приватним, орендованим чи державним [20].

Метою управління запасами є визначення рівня запасів з метою мінімізації загальних експлуатаційних витрат при одночасному задоволенні вимог обслуговування клієнтів. На практиці, ефективність управління запасами залежить від правильного вирішення п'яти питань [20]:

- 1) відносне значення клієнтів;
- 2) економічна значимість різних продуктів;
- 3) транспортна політика;
- 4) гнучкість виробничого процесу;
- 5) політика конкурентів.

Теорія запасів та транспортна політика взаємопов'язані. При просуванні товарів можна використовувати три основні стратегії: пряме відвантаження, складування, кросдокінг (рис. 2.2) [20].

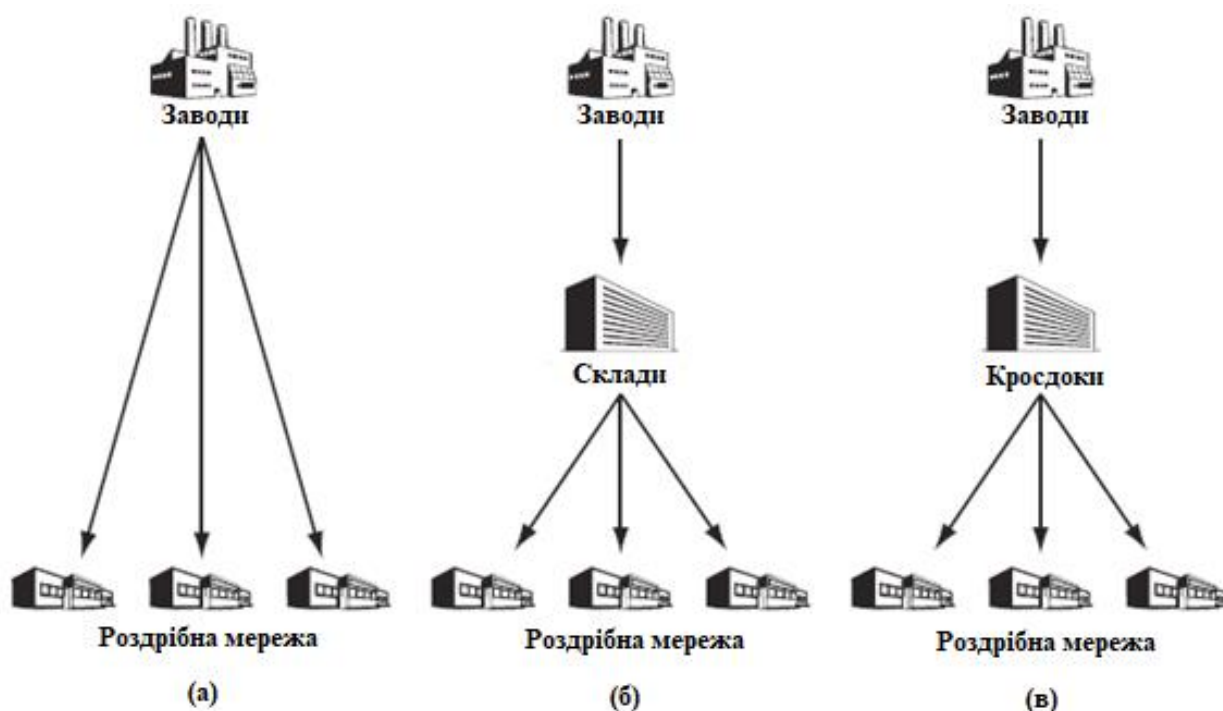


Рисунок 2.2 – Стратегії розподілу: (а) пряме відвантаження; (б) складування; (в) кросдокінг [20]

Якщо використовується стратегія прямого відвантаження, товари відвантажуються безпосередньо від виробника до кінцевого користувача (роздрібні продавці в разі роздрібних товарів) (рис. 2.2 а). Прямі поставки виключають витрати на експлуатацію розподільчого центру і скорочують час виконання замовлення. З іншого боку, якщо середній розмір партії вантажу для клієнта невеликий, і вони розосереджені по широкій географічній території, може знадобитися великий парк невеликих вантажних автомобілів [20]. В результаті пряма відправка є звичайною практикою, коли клієнти вимагають повністю завантажених вантажівок або коли швидкопсувні товари повинні бути доставлені вчасно.

Складування – це традиційний підхід, при якому товари надходять на склади і зберігаються в резервуарах, палетних стелажах або на полицях та стелажах (рис. 2.2 б). При надходженні замовлення товари вилучаються з місць зберігання, упаковуються і відправляються клієнту. Складування складається з чотирьох основних функцій: прийом товару, що надходить, зберігання, комплектація замовлення і відвантаження [20]. З цих чотирьох функцій зберігання і збір

замовлень є найдорожчими через витрати на зберігання запасу та витрат на робочу силу, відповідно.

Кросдокінг (розподіл точно в строк) – це відносно новий метод логістики, який успішно застосовується багатьма роздрібними мережами (рис. 2.2 в). Кросдок – це перевалочний комплекс, в який надходять вантажі (можливо, від декількох виробників або постачальників) сортуються, консоліднуються з іншими продуктами (товарами) і передаються безпосередньо на транспортні засоби без проміжного зберігання або комплектування замовлень. В результаті відвантаження займають всього декілька годин на об'єкті [20]. Технологія кросдокінгу передбачає, що перед розподілом товари присвоюються роздрібній торговельній точці до того, як вантаж залишає постачальника. Після розподілу сам кросдок розподіляє товари по торгових точках. Для правильної роботи цієї технології потрібно мати великий обсяг і низьку мінливість попиту (інакше складно зіставити попит і пропозицію), а також зручні в обігу продукти. Крім того, для координації вхідних і вихідних потоків необхідна відповідна інформаційна система.

Якщо використовується складська стратегія, необхідно вирішити, вибрати централізовану або децентралізовану систему. Централізована стратегія передбачає наявність єдиного складу, що обслуговує увесь ринок, а децентралізована – ринок розділений на різні зони, кожна з яких обслуговується окремим (меншим) складом. Децентралізоване складування призводить до скорочення термінів поставки, оскільки склади набагато ближче до клієнтів. З іншого боку, централізоване складування характеризується більш низькими витратами через більшу економію за рахунок масштабу [20]. Крім того, якщо вимоги клієнтів не корельовані, сукупний страховий запас, необхідний централізованій системі, значно менше, ніж сума страхових резервів в децентралізованій системі. Це явище (відоме як об'єднання ризиків) можна тлумачити так: згідно з наведеною вище гіпотезою, якщо попит деякої групи клієнтів вище середнього, то, ймовірно, буде група клієнтів, попит якої нижче середнього. Отже, попит, спочатку розподілений на одну групу, може бути перерозподілено на іншу, і, як наслідок, потрібні нижчі страхові запаси. Нарешті, витрати на вхідні поставки (витрати на доставку товарів з виробничих підприємств на склади) нижче в централізованій системі, в той час як витрати на вихідні поставки (витрати на доставку товарів зі складів клієнтам) нижче в децентралізованій системі [20].

3. *Вантажні перевезення.* Вантажні перевезення грають ключову роль в сучасній економіці, оскільки дозволяють виробляти і споживати продукти в місцях, розташованих на відстані декількох сотень або тисяч кілометрів один від одного. В результаті ринки стають ширшими, що стимулює пряму конкуренцію

між виробниками з різних країн і стимулює компанії використовувати ефект масштабу. Крім того, компанії в розвинених країнах можуть скористатися більш низькою заробітною платою в країнах, що розвиваються. Нарешті, швидкопсувні товари можуть бути доступні на світовому ринку [20].

Вантажні перевезення часто складають навіть дві третини від загальної вартості логістики і істотно впливають на рівень обслуговування клієнтів. Тому не дивно, що планування перевезень відіграє ключову роль в управлінні логістичною системою.

Виробник або дистриб'ютор можуть вибрати один з трьох варіантів транспортування своїх вантажів. По-перше, компанія може управляти приватним або орендованим парком транспортних засобів. По-друге, перевізник може нести відповідальність за перевезення вантажів за допомогою прямих поставок, що регулюються договором. По-третє, компанія може звернутися до перевізника, який використовує загальні ресурси (транспортні засоби, термінали) для виконання декількох транспортних потреб клієнта [20].

Канали розподілу

Доставка продуктів кінцевим користувачам або в роздрібні магазини може бути складним процесом. У той час як кілька фірм-виробників безпосередньо продають свої продукти кінцевим користувачам, в більшості випадків посередники беруть участь в поширенні продукції. Це можуть бути торгові агенти або брокери, що діють від імені виробника, або гуртовики, які купують товари у виробників і перепродують їх роздрібним продавцям, які, в свою чергу, продають їх кінцевим користувачам. Посередники додають надбавку до вартості продукту, але в цілому вони приносять користь споживачам, оскільки вони забезпечують більш низькі витрати на транспортування, ніж могли б досягти виробники. Канал розподілу – це шлях, по якому йде продукт від виробника до кінцевого користувача. Відповідне маркетингове рішення полягає у виборі підходящої комбінації каналів збуту для кожного продукту [20]. Рис. 2.3 ілюструє основні 7 видів каналів розподілу. Канали видів 1–4 відповідають споживчим товарам, а канали видів 5–7 відповідають промисловим товарам.

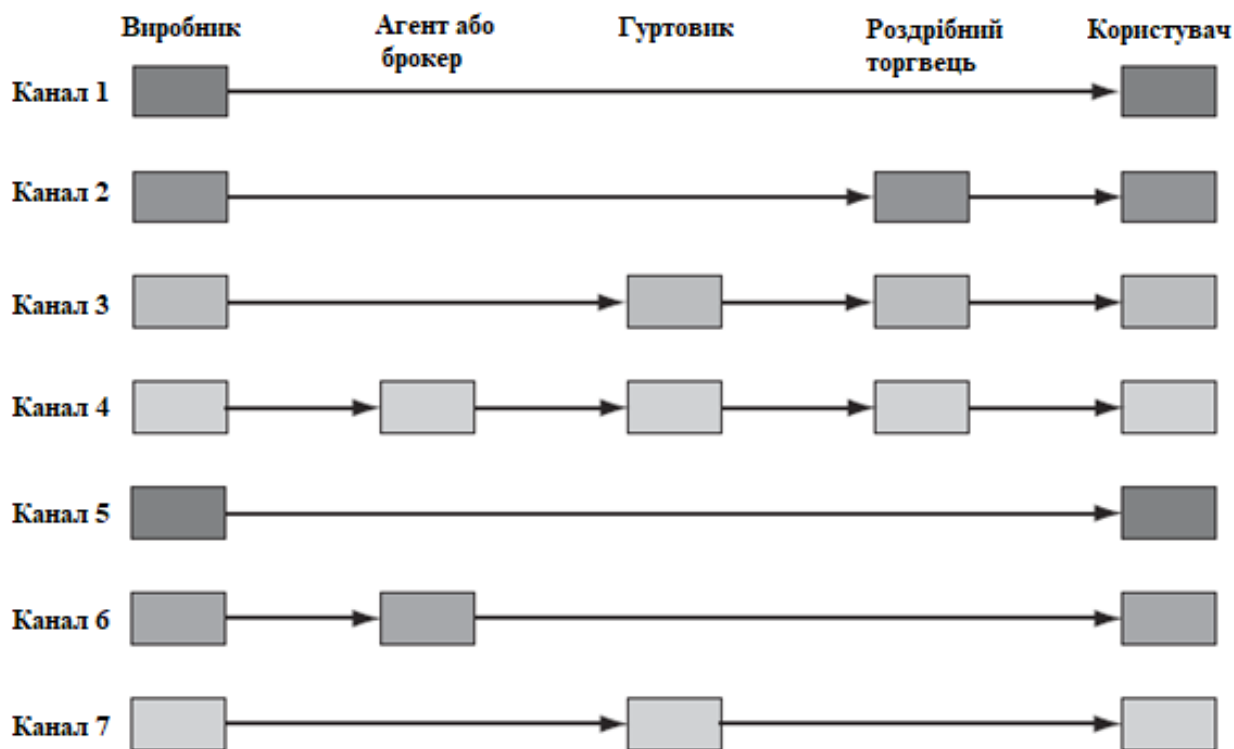


Рисунок 2.3 – Варіанти каналів розподілу [20]

У каналі 1-го виду немає посередників. Він підходить для обмеженого числа товарів (косметика і книги продаються від дверей до дверей, вироби дрібносерійного виробництва із застосуванням ручної праці продаються на місцевих блошиних ринках тощо).

У каналі 2-го виду виробники розповсюджують свою продукцію за допомогою роздрібних продавців (наприклад, в шинній промисловості).

Канал 3-го виду популярний, коли виробники розповсюджують свою продукцію тільки у великих кількостях, а роздрібні продавці не можуть дозволити собі купувати великі кількості товарів (наприклад, в харчовій промисловості).

Канал 4-го виду аналогічний каналу 3-го виду, за винятком того, що виробники представлені торговими агентами або брокерами (наприклад, в у виробництві одязі).

Канал 5-го виду використовується для більшості промислових товарів (сировина, обладнання тощо). Товари продаються у великих кількостях, тому гуртовики не потрібні.

Канал 6-го виду такий же, як канал 5-го виду, за винятком того, що виробники представлені торговими агентами або брокерами.

Канал 7-го виду використовується для невеликих аксесуарів.

Консолідація вантажів

Найпоширеніший спосіб добитися значної економії витрат на логістику полягає в тому, щоб скористатися перевагами ефекту масштабу при транспортуванні шляхом консолідації невеликих перевезень в більші. Консолідація може бути досягнута трьома способами. По-перше, невеликі вантажі, які повинні перевозитися на великі відстані, можуть бути об'єднані для перевезення великих партій на великі відстані і невеликих партій на короткі відстані (консолідація об'єктів) [20]. По-друге, збірку одних вантажів і доставку інших у різні точки можна організувати з використанням одного транспортного засобу на збірно-розвізному маршруті (консолідація з декількома зупинками) [20]. По-третє, графіки відвантаження можуть бути скориговані таким чином, щоб зробити одне велике відвантаження, а не кілька дрібних (тимчасова консолідація) [20].

Вид транспорту для здійснення процесу перевезень

Транспортні послуги пропонуються у великій кількості варіантів. Існує п'ять основних видів транспорту водний, залізничний, автомобільний, повітряний і трубопровідний. Їх можна комбінувати декількома способами для отримання послуг «від дверей до дверей» [20].

Вантажі часто об'єднують в піддони або контейнери, щоб захистити його і полегшити обробку на терміналах. Звичайні розміри піддонів складають 100×120 см, 80×100 см, 90×110 см і 120×120 см. Контейнери можуть бути з охолодженням, вентильованими, закритими або з верхніми отворами. Контейнери для транспортування рідин мають місткість від 14 000 до 20 000 л. Характеристики найбільш поширених контейнерів для перевезення твердих вантажів наведені в табл. 2.2 [20].

При виборі перевізника вантажовідправник повинен враховувати два основних параметри: вартість і час в дорозі.

Таблиця 2.2 – Основні характеристики найбільш поширених контейнерів, використовуваних для перевезення твердих вантажів [20]

Тип	Розмір (м ³)	Тара (кг)	Місткість (кг)	Місткість (м ³)
ISO 20	5,899×2,352×2,388	2300	21700	33,13
ISO 40	12,069×2,373×2,405	3850	26630	67,80

Вартість послуг на транспортування, що виконуються вантажовідправником, являє собою суму всіх витрат, пов'язаних з експлуатацією терміналів і транспортних засобів. Вартість транспортних послуг – це просто тариф, який перевізник бере з вантажовідправника. При цьому повітряний

транспорт є найдорожчим видом транспорту, за ним, за дорожчею, іде автомобільний, залізничний, трубопровідний і водний транспорт. Згідно з останніми дослідженнями, транспортування автомобілями приблизно в сім разів дорожче, ніж на поїзді, що в чотири рази дорожче, ніж кораблем [20].

Транзитний час – це час, який потрібен вантажу для переміщення між його місця відправлення до місця призначення. Це випадкова величина, на яку впливають погода і умови руху. Порівняння середнього часу транспортування для п'яти основних видів транспорту представлено на рис. 2.4. Слід зазначити, що деякі види транспорту (наприклад, повітряний) повинні використовуватися спільно з іншими видами (наприклад, автомобільним), щоб забезпечити транспортування від дверей до дверей. Стандартне відхилення і коефіцієнт варіації (стандартне відхилення за середнім часом транзиту) часу транзиту є двома показниками надійності транспортних послуг (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Надійність п'яти основних видів транспорту, виражена стандартним відхиленням і коефіцієнтом варіації часу транзиту [20]

Ранг	Стандартне відхилення	Коефіцієнт варіації
1	Трубопровід	Трубопровід
2	Літак	Літак
3	Вантажний автомобіль	Вантажний автомобіль
4	Потяг	Потяг
5	Корабель	Корабель

Залізничні перевезення недорогі (особливо для далеких перевезень), відносно повільні і досить ненадійні. В результаті залізниця є повільним рухом сировини (вугілля, хімікати тощо) і малоцінних готових виробів (папір, консерви тощо) [20].

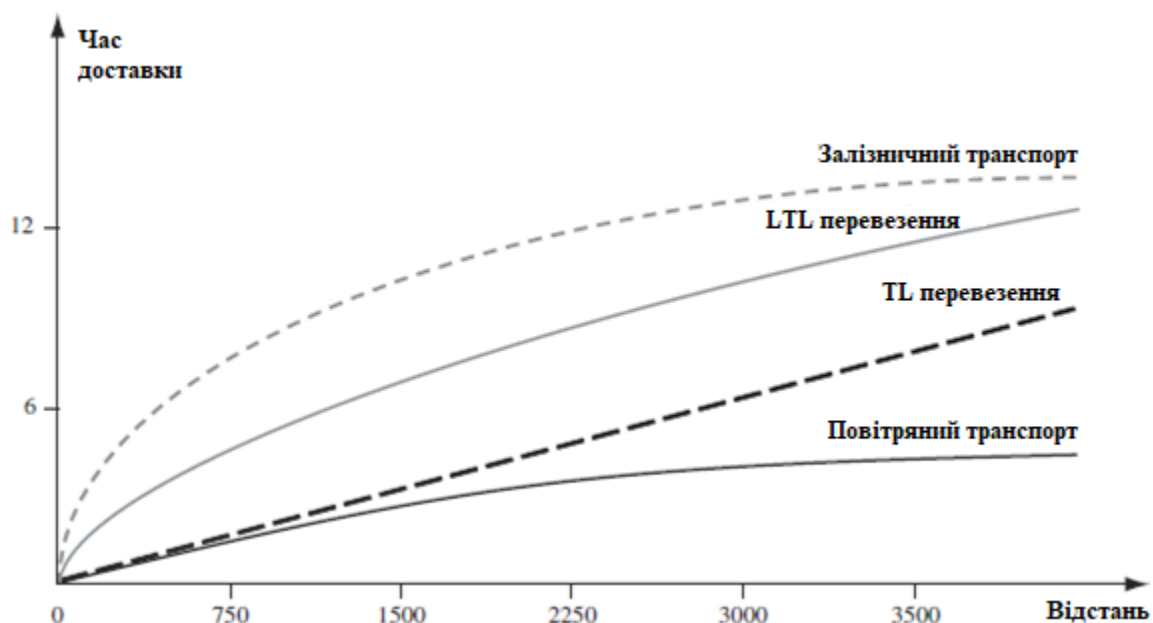


Рисунок 2.4 – Середній час доставки (в добах) як функція відстані (в кілометрах) між пунктами відправлення і призначення [20]

Це пов'язано в основному з трьома причинами:

- потяги, що транспортують вантажі, мають низький пріоритет у порівнянні з поїздами, що перевозять пасажирів;
- пряме залізничне сполучення зустрічається досить рідко;
- потяг повинен складатися з десятків вагонів, щоб бути економічно доцільним.

Вантажні автомобілі використовуються в основному для переміщення напівфабрикатів і готових виробів. Автомобільні перевезення можуть бути з використанням технології TL (*truckload*) перевезення або LTL перевезення (*less-than-truckload*). TL транспортування передбачає переміщення вантажів із повним завантаженням автомобіля безпосередньо від місця відправлення до місця призначення за одну їзду (рис. 2.5) [20]. Якщо відвантаження становлять набагато менше, ніж місткість транспортного засобу (вантажі LTL), то більш зручно користуватися кількома службами вантажоперевезень в поєднанні з терміналами консолідації, а не використовувати прямі відвантаження (рис. 2.6) [20]. В результаті вантажоперевезення за технологією LTL повільніше, ніж за технологією TL.

Повітряний транспорт часто використовується разом з автомобільним транспортом для надання наскрізних послуг. Хоча повітряні перевезення в принципі дуже швидкі, на практиці вони сповільнюються через обробку вантажів в аеропортах. Отже, повітряні перевезення не конкурентоспроможні для перевезень на короткі і середні відстані [20]. Навпаки, вони досить популярні для перевезення цінних продуктів на великі відстані.

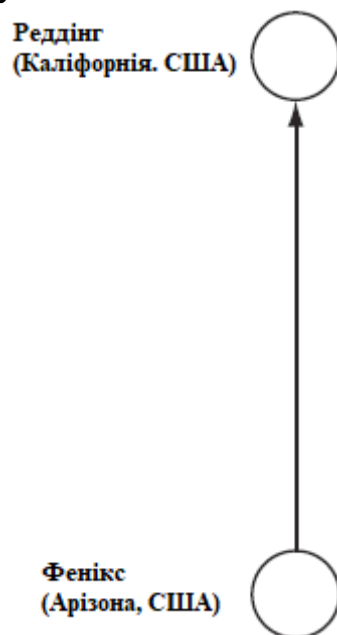


Рисунок 2.5 – Приклад TL транспортування [20]

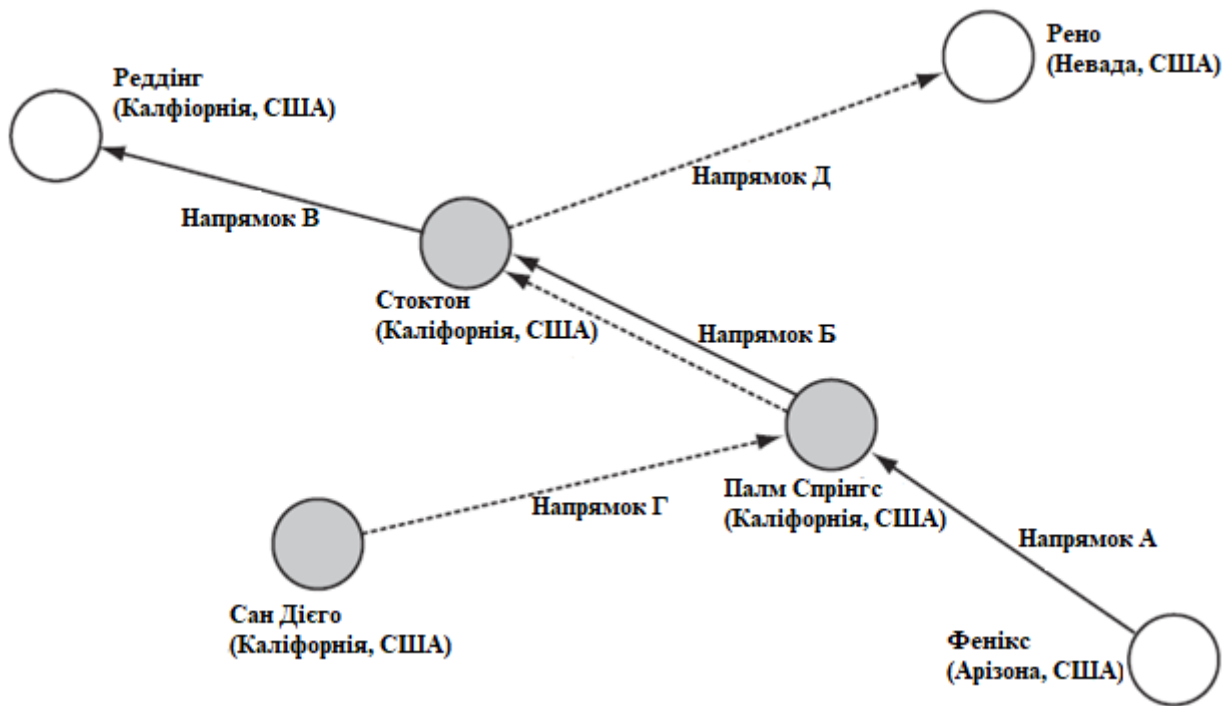


Рисунок 2.6 – Приклад LTL транспортування [20]

Використання декількох видів транспорту може призвести до того, що транспортні послуги матимуть розумний компроміс між вартістю і часом транзиту. Хоча, в принципі, існує кілька комбінацій з п'яти основних способів транспортування, на практиці лише кілька з них виявляються зручними. Найбільш частими інтермодальними послугами є повітряно-автомобільні «*birdyback*» перевезення, залізнично-автомобільні «*piggyback*» (контрейлерні) перевезення, судно-автомобільні «*fishyback*» перевезення. Контейнери є найбільш поширеними вантажними одиницями при інтермодальних перевезеннях і можуть переміщатися двома способами [20]:

- контейнери завантажуються у вантажівку, а потім вантажівка завантажується у потяг, судно або літак (причіп на платформі);
- контейнери завантажуються безпосередньо в потяг, корабель або літак (контейнер на платформі).

Проблеми управління логістикою

Розробляючи стратегію логістики, менеджери прагнуть до досягнення відповідного компромісу між трьома основними цілями: скорочення капіталу, зниження витрат і підвищення рівня обслуговування [20].

Мета скорочення капіталу полягає в тому, щоб максимально знизити рівень інвестицій в логістичну систему (який залежить від наявного обладнання та запасів). Це може бути досягнуто кількома способами, наприклад, шляхом вибору громадських складів замість приватних і використання звичайних

перевізників замість приватних. Звичайно, зменшення капіталу, зазвичай, відбувається за рахунок більш високих експлуатаційних витрат [20].

Друга мета – мінімізувати загальні витрати, пов'язані з транспортуванням та зберіганням. Наприклад, можна управляти приватними складами і транспортними засобами (за умови, що обсяг продажів досить великий) [20].

Рівень логістичних послуг в значній мірі впливає на задоволеність клієнтів, що, в свою чергу, робить істотний вплив на доходи. Таким чином, підвищенням рівня логістичних послуг може збільшити доходи, особливо на ринках з однорідними недорогими продуктами, де конкуренція не базується на характеристиках продукту.

Рівень логістичного обслуговування часто виражається через час циклу замовлення, яке визначається як час, що минув між моментом видачі замовлення на покупку (або запиту на обслуговування) і часом отримання товару клієнтом (або послуга надається замовнику). Час циклу замовлення є випадковою величиною з поліноміальним розподілом ймовірностей. Функція щільності ймовірності ланцюга поставок наведено на рис. 2.7.

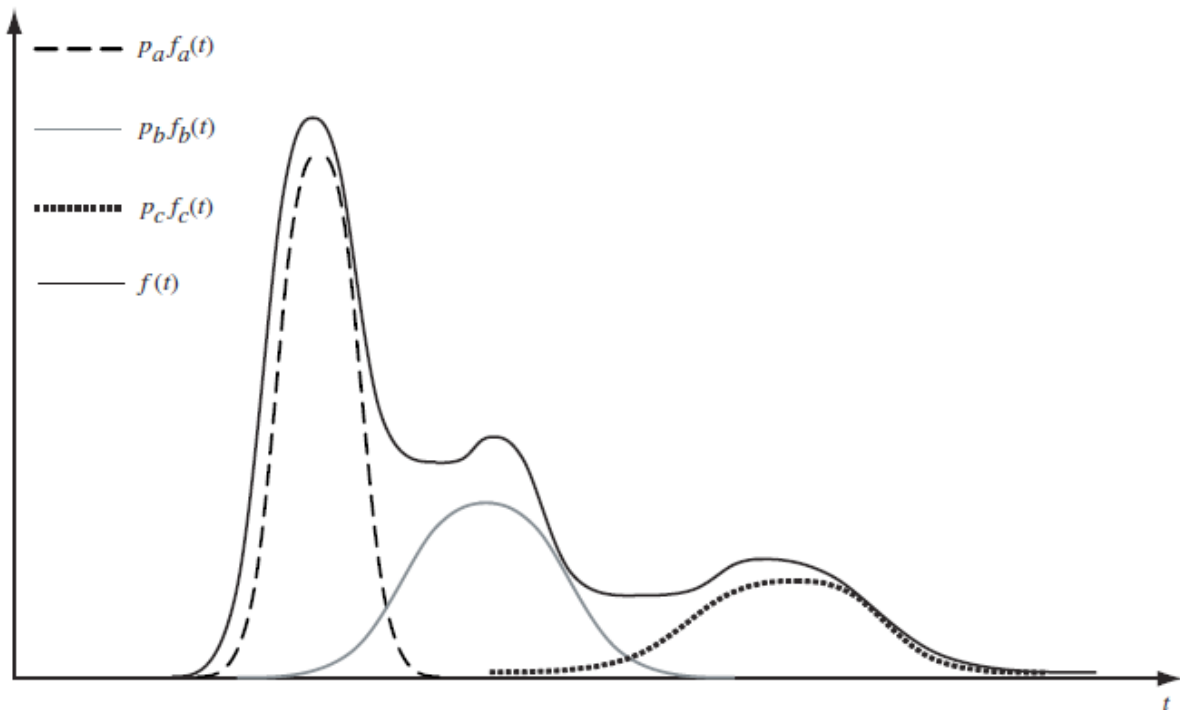


Рисунок 2.7 – Функція щільності ймовірності часу циклу замовлення [20]

Коли торгова точка видає замовлення, можуть відбутися такі події [20]:

1) якщо товари, які необхідні торговій точці, є у наявності у відповідному регіональному розподільчому центрі, то вони будуть доставлені найближчим часом;

2) в іншому випадку регіональний розподільчий центр повинен поповнити свої запаси, розмістивши замовлення в центральному розподільчому центрі, і в цьому випадку задоволення потреб роздрібного продавця буде відкладено;

3) якщо товари недоступні, навіть, в центральному розподільчому центрі, то виробникам буде запропоновано їх зробити.

Нехай p_a, p_b і p_c – ймовірності подій a, b і c , і нехай $f_a(t), f_b(t), f_c(t)$ - (умовні) функції щільності ймовірності часу циклу порядку в разі події А, В і С відбуваються відповідно. Тоді функція щільності ймовірності часу циклу замовлення [20]:

$$f(t) = p_a f_a(t) + p_b f_b(t) + p_c f_c(t). \quad (2.1)$$

Різні логістичні системи можуть бути класифіковані на основі класичних концепцій багатоцільового аналізу. Кожна система логістики характеризується рівнем інвестицій, вартістю і рівнем обслуговування. Наприклад, система з приватними складами і автопарками може характеризуватися високим рівнем інвестицій, відносно низькою вартістю і високим рівнем логістичного обслуговування [20].

Рівень логістичного обслуговування сильно впливає на обсяг продажів (рис. 2.8). Якщо сервіс поганий, генерується мало продажів [20]. Коли сервіс наближається до конкурентного, обсяг продажів зростає.

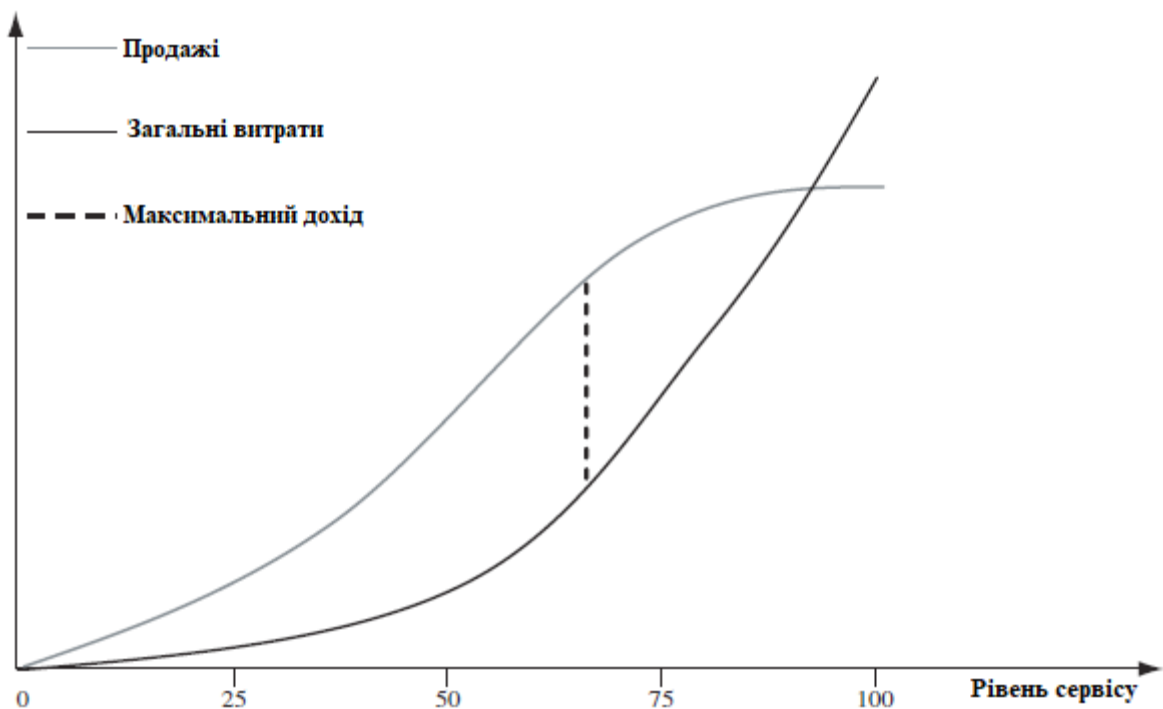


Рисунок 2.8 – Визначення оптимального рівня обслуговування [20]

З подальшим покращенням рівня обслуговування спостерігається збільшення продажів і у конкуруючих постачальників (за умови, що інші компанії не змінюють свою логістичну систему). Нарешті, якщо поліпшення в сфері послуг зайшли занадто далеко, продажі продовжать рости, але більш повільними темпами. Співвідношення продажів і послуг можна оцінити за допомогою опитувань покупців і комп'ютерного моделювання [20].

Оптимальний рівень обслуговування, зазвичай, лежить між низькими і високими екстремумами. На практиці часто використовується дещо інший підхід: по-перше, встановлюється рівень обслуговування клієнтів; потім система логістики проектується так, щоб відповідати цьому рівню обслуговування при мінімальних витратах [20].

Нові тенденції в логістиці

В останні роки кілька стратегічних і технологічних змін зробили помітний вплив на логістику. Серед них: глобалізація, нові інформаційні технології та електронна комерція [20].

Все більша кількість компаній працюють на світовому рівні, щоб скористатися більш низькими виробничими витратами або дешевою сировиною, що доступна в деяких країнах. Іноді це досягається шляхом придбань або стратегічних альянсів з іншими фірмами. В результаті глобалізації транспортні потреби зросли. Більше деталей і напівфабрикатів необхідно переміщати між виробничими майданчиками, а транспортування на ринки, як правило, стало більш складним і дорогим. Збільшення мультимодальних контейнерних перевезень є прямим наслідком глобалізації [20]. Крім того, в результаті глобалізації необхідно приділяти більше уваги ефективному проектуванню та управлінню ланцюгами поставок, іноді на світовому рівні.

Постачальники і виробники використовують EDI. Це дозволяє їм обмінюватися даними про рівні запасів, терміни поставок, позиціонування транзитних товарів в ланцюгу поставок тощо. На оперативному рівні – географічні інформаційні системи (ГІС), системи глобального позиціонування (GPS) і бортові комп'ютери дозволяють диспетчерам відстежувати поточний стан транспортних засобів і спілкуватися з водіями [20]. Такі технології мають важливе значення для фірм, що займаються експрес-доставкою та доставкою вантажів, а також для компаній з міжнародного перевезення.

На даний час все більше компаній здійснюють комерційні угоди через Інтернет. Прийнято усвідомлювати різницю між транзакціями «бізнес до бізнесу» (B2B) і «бізнес до споживача» (B2C). Зростання електронної комерції відбувається паралельно зростанню глобалізації та інформаційних технологій. В

результаті електронної торгівлі обсяг товарів між виробниками і продавцями повинен знизитися, в той час, як слід очікувати, більш прямих поставок між виробниками і кінцевими користувачами [20].

Електронна комерція призводить до більш складної організації всієї логістичної системи (електронна логістика), яка повинна бути здатна управляти дрібними і середніми перевезеннями для великої кількості клієнтів, іноді розкиданих по всьому світу. Крім того, зворотний потік дефектних (або відхилених) товарів стає серйозною проблемою (зворотна логістика). У табл. 2.4 представлені основні відмінності між традиційною логістикою і електронної логістикою [20].

Таблиця 2.4 Основні відмінності між традиційною логістикою і електронної логістикою [20]

	Традиційна логістика	Електронна логістика
Тип завантаження	Великий обсяг	Посилки
Покупець	Відомий	Невідомий
Середня вартість замовлення	>\$1000	<\$100
Напрямок	Концентрований	Сильно розкиданий
Тенденція попиту	Регулярний	Переривчастий

В системі електронної логістики зазвичай застосовуються різні підходи до роботи складів і розподілу. Віртуальний склад і точки присутності на території (*Points Of Presence In The Territory POPITТ*) – це лише кілька прикладів. Віртуальний склад – це об'єкт, де постачальники і дистриб'ютори зберігають свої товари на складі таким чином, щоб компанія електронної комерції могла виконувати свої замовлення [20]. POPITТ – це підприємство, яке перебуває у власності компанії, куди клієнти можуть піти або за покупкою і отриманням замовленого товару, або для повернення бракованої продукції. На відміну від традиційних магазинів, POPITТ зберігає тільки вже продані товари, які очікують отримання покупцями, і дефектні товари, які очікують повернення виробникам. Це рішення спрощує управління дистрибуцією, але знижує рівень обслуговування клієнтів, оскільки не дозволяє здійснювати доставку до дому [20].

Логістичні рішення

При проектуванні і експлуатації логістичної системи необхідно вирішити кілька основних питань. Наприклад, чи повинні бути відкриті нові виробничі потужності (виробничі і складальні центри, центральні дистрибутивні склади, регіональні розподільчі склади, центральні розподільчі склади)? Яка їх краща

конфігурація, розмір і місце розташування? Чи повинен будь-який існуючий об'єкт бути проданий, переміщений або зменшений? Де слід купувати і зберігати матеріали і компоненти? Де вони мають бути вироблені і зібрані? Де зберігати готову продукцію? Чи повинні склади належати компанії або здаватися в оренду? Де зберігати запасні частини? Як планувати виробництво? Як повинні працювати склади? Чи повинні товари зберігатися в стелажах або вони повинні бути укладені в штабелі? Чи повинні товари бути отримані командою збиральників замовлень або за допомогою автоматичних пристроїв? Коли і як слід поповнювати запаси на кожному складі? Який вид транспорту слід використовувати для перевезення продуктів? Чи повинні транспортні засоби належати компанії або здаватися в оренду? Який оптимальний обсяг парку рухомого складу? Як слід планувати відвантаження? Як слід направляти машини? Чи повинні деякі перевезення виконуватися звичайними перевізниками?

Логістичні рішення відповідно до горизонту планування традиційно класифікуються як стратегічні, тактичні й оперативні.

Стратегічні рішення мають довгострокові наслідки (як правило протягом багатьох років). Вони включають в себе проектування логістичних систем і придбання дорогих ресурсів (розташування об'єкта, визначення потужності, розташування заводу і складу, визначення розміру парку). Оскільки дані часто є неповними і неточними, в стратегічних рішеннях зазвичай використовуються прогнози, засновані на агрегованих даних (отриманих, наприклад, шляхом угруповання окремих продуктів в сімейства продуктів і об'єднання окремих клієнтів в зони клієнтів) [20].

Тактичні рішення приймаються на середньостроковій основі (наприклад, щомісяця або щокварталу) та включають планування виробництва і розподілу, а також розподіл ресурсів (розподіл сховища, стратегії комплектування замовлень, вибір режиму транспортування, стратегія консолідації) [20]. Тактичні рішення часто використовують прогнози, засновані на дезагрегованих даних.

Операційні рішення приймаються щодня або в режимі реального часу і мають вузьку сферу застосування. Вони включають в себе комплектацію складських замовлень, а також відвантаження і відправку автомобілів. Оперативні рішення зазвичай засновані на дуже докладних даних [20].

Методи підтримки прийняття рішень

Кількісний аналіз необхідний для прийняття інтелектуальних рішень в області логістики. Дослідження операцій пропонує безліч інструментів планування.

Існує три основних ситуації, в яких кількісний аналіз може виявитися корисним [20]:

1. Якщо логістична система вже існує, можна порівняти поточний вид системи (або поточну операційну політику) з галузевим стандартом.

2. При бажанні можна оцінити зазначені альтернативи. Зокрема, можна відповісти на ряд питань «а що, якщо» щодо конкретних альтернатив існуючій системі.

3. Хтось може побажати створити конфігурацію (або політику), яка є оптимальною (або, принаймні, хорошою) щодо даного показника продуктивності.

Бенчмаркінг (порівняльний аналіз) складається з порівняння продуктивності системи логістики зі стандартом «найкращої практики», тобто з ефективністю лідера галузі в логістичних операціях. Найбільш популярний логістичний бенчмаркінг заснований на моделі посилення операцій ланцюга поставок (*supply chain operations references* SCOR). Модель SCOR використовує кілька параметрів ефективності, які варіюються від високо агрегованих показників (ключові показниками ефективності) до показників, що описують конкретну операційну проблему.

Моделювання дозволяє оцінити поведінку конкретної конфігурації або політики з урахуванням динаміки системи. Наприклад, імітаційна модель може використовуватися для оцінки середнього часу отримання замовлення на даному складі, коли використовується конкретна політика зберігання. Кожен раз, коли потрібно оцінити іншу альтернативу, запускається нова симуляція. Наприклад, якщо кількість збирачів замовлень збільшується на одиницю, потрібно нове моделювання [20]. Імітаційні моделі можуть включати в себе велику кількість параметрів, таких як індивідуальні шаблони замовлень клієнтів. Однак найточніше моделювання вимагає багато часу і може бути важким, коли розглядається велика кількість альтернатив.

Процес прийняття рішень іноді може розглядатися як математична задача оптимізації. «Прості» (поліноміальні) задачі оптимізації можуть бути послідовно вирішені протягом прийнятого періоду часу, навіть якщо її розмір великий. Це має місце, наприклад, в задачах лінійного програмування (*linear programming* – LP) і, зокрема, в задачах лінійного мережевого потоку (*linear network flow* – NF), при цьому лінійні програми з десятками тисяч змінних і обмежень можуть бути швидко оптимізовані на персональному комп'ютері [20].

Завдання оптимізації NP-hard можуть бути послідовно вирішені протягом прийнятого періоду часу, тільки якщо її розмір досить малий. Більшість завдань цілочисельного програмування (*integer programming* – IP), змішаного цілочисельного програмування (*mixed-integer programming* – MIP) і нелінійного

програмування (*nonlinear programming* - NLP) важко оптимізувати. На жаль, деякі класи логістичних рішень (планування виробництва, рішення про місце розташування, маршрутизація і планування транспортних засобів тощо) можуть бути змодельовані лише як проблеми IP або MIP [20]. Це мотивувало розробку швидких евристичних алгоритмів, які шукають хороші, але не обов'язково кращі рішення.

При використанні моделей оптимізації ключовим аспектом є збереження якомога меншого розміру моделі. В результаті, на відміну від імітаційних моделей, оптимізаційні моделі зазвичай не враховують проблеми системної динаміки.

2.2. Прогнозування попиту на вантажні перевезення

2.2. Commercial geography. Freight transportation

Торгово-комерційна географія

Економічні системи засновані на торгівлі і угодах, оскільки спеціалізація і ефективність вимагають взаємозалежності. Люди обмінюють свою працю на заробітну плату, а корпорації обмінюють свою продукцію на капітал. Торгівля – це передача прав на володіння в обмін, зазвичай, на гроші [21]. Обмін включає в себе транзакцію і пов'язані з нею потоки капіталу, інформації, товарів, деталей або готової продукції. Все це вимагає розуміння комерційної географії.

Комерційна географія вивчає просторові характеристики торгівлі та угод з точки зору їх причини, характеру, походження і призначення. Вона спирається на аналіз договорів та угод [21]. Від простої комерційної угоди за участю людини, яка купує продукт в магазині, до складної мережі транзакцій, підтримуваної між транснаціональною корпорацією і її постачальниками, обсяги і масштаби комерційної географії істотно розрізняються.

Комерційна географія пов'язана з транзакціями (рис. 2.9). Оскільки кожна транзакція пов'язана з переміщенням людей, вантажів та інформації, існує тісний взаємозв'язок між сферою транзакцій (географічна установка транзакцій) і сферою обігу (географічна установка переміщень). Це передбачає транзакційні витрати і транспортні витрати. Основними транзакційними витратами є [21]:

1) Витрати на пошук і інформацію: витрати, пов'язані з пошуком відповідних товарів на ринку, у кого вони є і за якою ціною.

2) Витрати на переговори: витрати, пов'язані з досягненням угоди з іншою стороною угоди, результатом якої є контракт.

3) Витрати на підтримку правопорядку і забезпечення виконання: витрати, пов'язані із забезпеченням дотримання обома сторонами умов контракту і, якщо це не так, прийняттям юридичних заходів для виправлення ситуації.



Рисунок 2.9 – Комерційна і транспортна географія [21]

З точки зору походження та призначення торгівля має просторову логіку. Вона відображає економічну, соціальну і виробничу структуру відповідних ринків, але також передбачає інші фактори, такі як транспортні витрати, відстань, політичні зв'язки, обмінні курси і взаємні економічні переваги, які учасники цього процесу отримують від торгівлі. Для того, щоб торгівля відбувалася, повинні бути виконані кілька умов [21]:

- **Доступність.** Товари, від вугілля до комп'ютерних мікросхем, повинні бути доступні для торгівлі, і на ці товари має бути попит. Іншими словами, надлишок повинен існувати в одному місці, а попит - в іншому. Надлишок часто може бути простим вкладенням в виробничі потужності, наприклад, будівництво збирального заводу, або може бути обмежений складними факторами навколишнього середовища, такими як наявність ресурсів, таких як викопне паливо, корисні копалини і сільськогосподарська продукція.

- **Можливість передачі.** Існує три основні перешкоди для передачі, а саме політичні бар'єри (тарифи, митні перевірки, квоти), географічні бар'єри (час, відстань) і транспортні бар'єри (проста здатність впливати на результат транзакції). Транспортна інфраструктура, дозволяючи переміщувати товари з місця їх походження в пункт призначення, сприяє переміщенню товарів. Відстань часто грає важливу роль в торгівлі, так само як і здатність інфраструктури направляти і перевалювати товари.

- **Транзакційна ємність.** Угода повинна бути юридично можливою. Це має на увазі визнання валюти для торгівлі та законодавства, яке визначає середовище, в

якій відбуваються транзакції, наприклад, оподаткування. В контексті глобальної економіки трансакційне середовище дуже складне, але важливе для полегшення торгівлі на регіональному, національному та міжнародному рівнях. Як тільки ці умови виконані, угода можлива, і в результаті транзакції виникне потік. З концепцією потоку пов'язані три конкретних питання:

- **Ціна.** Потоки мають узгоджену вартість і розраховуються єдиною валютою. Американський долар, який став основною світовою валютою, використовується для розрахунків і/або вимірювання багатьох міжнародних транзакцій. Крім того, країни повинні підтримувати резерви іноземної валюти для розрахунків за своїми операціями, а співвідношення між вхідними і вихідними потоками капіталу відомо як платіжний баланс. Хоча країни намагаються підтримувати стабільний платіжний баланс, це буває досить рідко.

- **Обсяг.** Потоки мають фізичні характеристики, в основному пов'язані з масою. Маса потоків є значною змінною, коли торгівля включає сировину, таку як нафта або мінерали. Однак в разі споживчих товарів вага не має великого значення в порівнянні з вартістю товарів, якими торгують. При контейнеризації була введена нова одиниця виміру обсягу: TEU (20-футова еквівалентна одиниця), яку можна використовувати для оцінки торгових потоків.

- **Масштаб.** У потоків є діапазон, який значно варіюється залежно від характеру транзакції. У той час як транзакції роздрібно торгівлі, як правило, відбуваються в місцевому масштабі, транзакції, пов'язані з операціями транснаціональної корпорації, мають глобальний масштаб.

Тенденції в комерційній географії

Сучасна комерційне середовище відзначено зростаючої свободою торгівлі та глибокими технологічними, промисловими і геополітичними змінами. Лібералізація торгівлі, підтверджена створенням Світової торговельної організації, дала сильний імпульс і позитивну тенденцію в темпах зростання світової торгівлі і промислового виробництва. Однак, в умовах справжньої вільної торгівлі регулюючі органи не повинні існувати [21]. Незважаючи на спроби дерегуляції, транзакції і торгівля схильні до суперечок, судових розглядів і дисбалансом щодо того, хто отримує найбільшу вигоду. Хоча ці питання в основному відносяться до міжнародної торгівлі, бувають також ситуації, коли торгівля між провінціями (штатами, областями, регіонами) країни обмежена [21].

Незважаючи на глобалізацію, велика частина торгівлі як і раніше носить переважно регіональний характер. Аналіз світових торгових потоків показує, що торгівля всередині регіонів більш значна, ніж торгівля між регіонами, але міжміська торгівля неухильно зростає [21]. Цифри показують зростання частки

Східної Азії, особливо Китаю, в світовій торгівлі як в експорті, так і в імпорті. Потоки товарів також супроводжуються значним зростанням прямих іноземних інвестицій. Таким чином, відбувається помітний перерозподіл виробничих потужностей після зміни порівняльних переваг по всьому світу. Ця тенденція супроводжується злиттями й поглинаннями підприємств, які стають все більш глобальними. Таким чином, аналіз міжнародної торгівлі показує необхідність прийняття різних стратегій для адаптації до цього нового торгового середовища. По мірі переміщення виробництва відбувається постійний зсув акцентів в структурі експорту та імпорту світової економіки [21].

В останні десятиліття відбулися важливі зміни в міжнародних торговельних потоках (рис. 2.10). Основна частина міжнародної торгівлі відбувається в рамках економічних блоків, особливо Європейського Союзу і НАФТА (Північноамериканська угода про вільну торгівлю) [21]. Інші значні потоки рухаються між Азією / Тихим океаном і Північною Америкою (особливо США), між Європою і Північною Америкою і Європою та Азією / Тихим океаном. З декількох причин, такими як географічна близькість (Східна Європа), енергія (Близький Схід) і колоніальна спадщина (Африка), Європейський Союз має значні торговельні зв'язки з рештою світу. Північна Америка також підтримує важливі торговельні зв'язки з Латинською Америкою. Інша важлива характеристика сучасного комерційного середовища стосується дисбалансу торгових потоків. Наприклад, на рис 2.10 видно, що Азіатсько-Тихоокеанський регіон експортує більше, ніж імпортує, і що Північна Америка імпортує більше, ніж експортує [21].

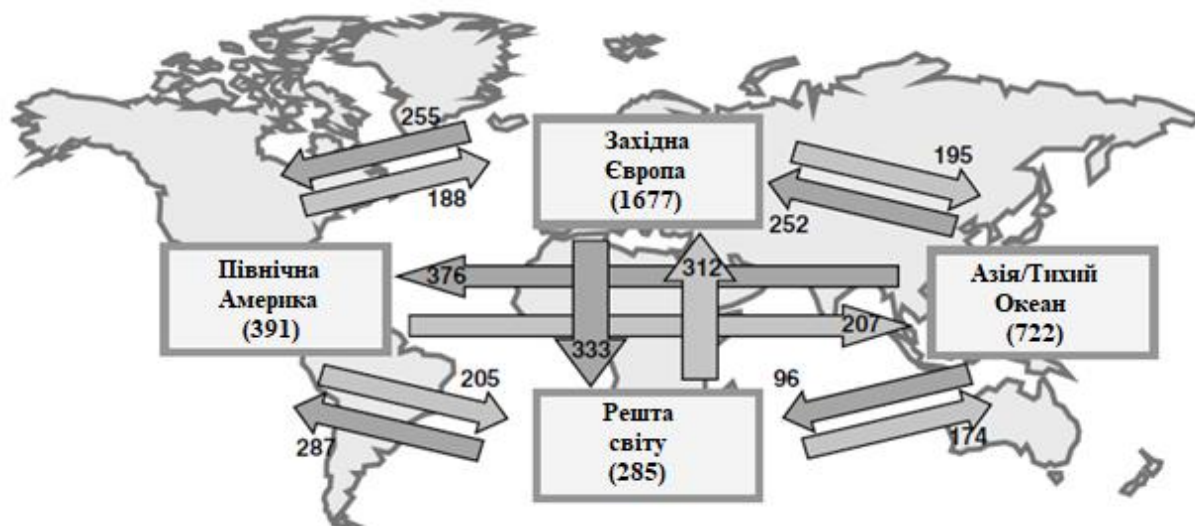


Рисунок 2.10 – Світові торгові потоки у млрд. доларів США у 2001 році [2]

Серйозні зміни відбулися і в організації виробництва. Помітно посилюється поділ праці в області проектування, планування і складання в виробничому процесі в світовій економіці. Взаємопов'язані партнерські відносини в структурі

виробництва збільшили торгівлю запчастинами та поставку виробничого обладнання по всьому світу. Третина всієї торгівлі відбувається між материнськими компаніями і їх закордонними філіями. Частково цей динамізм пов'язаний з прийняттям стандартів – процесом, який почався в кінці дев'ятнадцятого століття з метою просування масового виробництва [21]. Це дозволило швидко розвинути багато галузей діяльності, включаючи залізні дороги, електроенергетику, автомобілебудування і, останнім часом, телекомунікаційну галузь (Інтернет, електронний обмін даними). У сфері глобалізації економічної діяльності Міжнародна організація по стандартизації розробила норми ISO, які служать для порівняння один з одним різних підприємств по всьому світу. Ці норми застосовуються до обробної промисловості і сфери послуг і є необхідним інструментом для зростання [21].

Ще одна значна зміна в комерційній географії – зростання особистого споживання, хоча це відбувається не рівномірно. Основна частина споживання як і раніше зосереджена в обмеженому числі країн, причому тільки на країни G7 припадає дві третини світового валового внутрішнього продукту. В результаті на географію торгівлі впливає розмір ринку, рівень споживання в економіці (часто вимірюється в ВВП на душу населення), а також потенціал зростання в різних регіонах світу. Економічне зростання, що відбувається в Східній і Південно-Східній Азії, є однією з найзначніших сил, що впливають на зміни в сучасному комерційному середовищі [21]. Комодифікація (перетворення будь-чого у товар) економіки призвела до значного зростання роздрібною та оптовою торгівлі і пов'язаних з цим перевезень вантажів [21].

Комерціалізація транспортної галузі

Лібералізація торгівлі супроводжувалася зростанням обсягів перевезень, оскільки операції пов'язані з переміщенням вантажів, капіталу, людей та інформації. Розвиток транспортного сектора супроводжується глобальною і регіональною взаємозалежністю і конкуренцією. Транспортування, як і товари, продукти і послуги, продається, іноді відкрито і в повній залежності від ринкових сил, але частіше – у формі громадського контролю або власності. Основний компонент транзакції, пов'язаної з транспортом, залежить від витрат, які або мають узгоджуватися між постачальником послуги і її користувачем, або підлягають довільному встановленню (фіксування цін, наприклад, на громадському транспорті). Оскільки транспортування може сприйматися як послуга для людей, вантажів або інформації, її комерціалізація і то, як вона виводиться на ринок, є важливим аспектом її динаміки (рис. 2.11) [21].

Розширення операційних масштабів розподілу вантажів гарантує, що виробнича система досягає свого оптимального ринкового потенціалу, а саме за рахунок комбінації стратегій, пов'язаних з використанням порівняльних переваг і більш широкої ринкової бази. Хоча оптимальний розмір ринку ніколи не може бути досягнуто через правила, що перешкоджають монополії і відмінності в уподобаннях споживачів, тенденція до забезпечення максимальної присутності на ринку очевидна. Поява світових брендів і глобальних виробничих мереж явно підкреслює це [21].

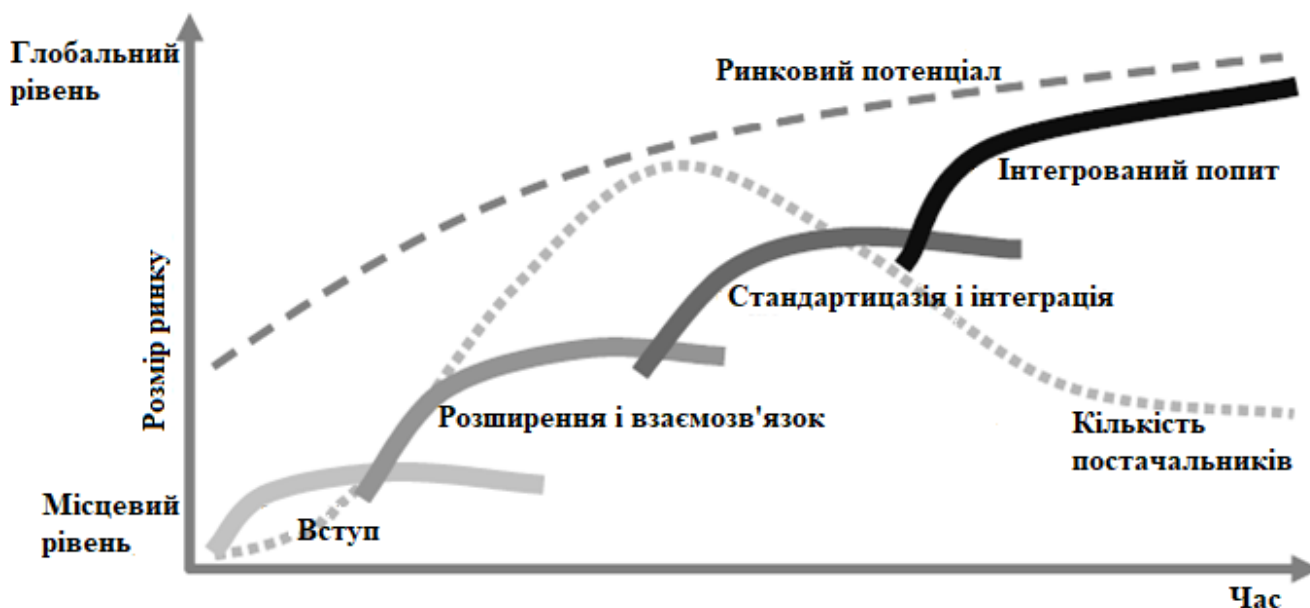


Рисунок 2.11 – Комерціалізація транспорту [21]

В рамках розподілу вантажів можна виділити чотири чіткі циклічні фази розширення і функціональної інтеграції [21]:

- Вступ. Спочатку транспортна система вводиться для обслуговування конкретної можливості в ізольованому контексті. Технологія часто є «проприетарною» і несумісна з іншими транспортними системами. Оскільки вони не пов'язані між собою, це не є великою проблемою.

- Розширення і взаємозв'язок. У міру того, як стає очевидною конкурентоспроможність і потенціал розвитку транспортної системи, настає фаза розширення та взаємозв'язку. Отже, розмір ринку, що обслуговується цими транспортними системами, збільшується в міру їх впровадження в нових місцях. У якийсь момент з'єднуються незалежно розроблені транспортні системи. Однак це з'єднання часто є функцією перевантаження між двома несумісними транспортними системами.

- Стандартизація і інтеграція. На цьому етапі часто виникає повністю розвинена система розподілу, яка обслуговує великі національні ринки. Основне завдання, яке необхідно вирішити, пов'язане зі стандартизацією режимів і

процесів, подальшим розширенням комерційного потенціалу відповідних ланцюгів поставок. Модальні потоки переміщуються більш ефективно всією мережею і можуть переходити з одного режиму в інший за допомогою інтермодальної інтеграції. Цей етап часто супроводжує процес злиття і поглинання з метою раціоналізації та розширення ринку.

- Інтегрований попит. Найбільш просунутий етап розширення системи розподілу включає в себе систему, яка повністю здатна задовольнити потреби в перевезеннях вантажів при різних обставинах, будь-то прогнозований або непередбачуваний попит. Оскільки ця система має тенденцію бути глобальною, вона зазвичай працює близько до ринкового потенціалу. В таких умовах система розподілу висловлює інтегрований попит, де можливості розподілу налаштовані на попит у взаємозалежній системі.

Кожна з цих фаз має тенденцію бути послідовною і пов'язана з історичним процесом розвитку транспорту. Наприклад, до середини дев'ятнадцятого століття більшість систем розподілу були ізольованими і розвивалися незалежно одна від одної. Навіть глобальний морський транспорт був фрагментований національними прапорами і торговими системами. У міру зростання регіональних транспортних систем в другій половині дев'ятнадцятого століття вони поступово з'єднувалися між собою, але для переходу від однієї системи до іншої потрібна була єдина форма перевалки [21]. До початку двадцятого століття більшість національних транспортних систем були інтегровані, але взаємозв'язок між видами транспорту був складним. Наступне завдання полягало в розвитку інтермодальних перевезень, прискорених контейнеризацією і інформаційними технологіями.

Одним з важливих компонентів комерціалізації перевезень є інвестиції в інфраструктуру, види транспорту і термінали, а також маркетинг. Це завдання виконуються або для розширення географічного охоплення і / або пропускної здатності транспортної системи, або для підтримання умов її експлуатації. Державний і приватний сектори внесли свій вклад у фінансування транспортних інвестицій залежно від економічних, соціальних і стратегічних інтересів. З очевидних причин приватний сектор прагне до інвестицій в транспорт, які обіцяють економічний прибуток, в той час як державний сектор часто інвестує по соціальним і стратегічним причинам [21]. У багатьох випадках приватним постачальникам транспортних послуг важко діяти незалежно при формулюванні і реалізації своїх транспортних інвестицій. Органи влади різних рівнів часто лобіюють транспортні фірми з метою отримання фінансової та / або нормативної допомоги в проєктах, які представляють суспільний інтерес і приносять користь. Консолідація регіональних ринків і пов'язане з цим збільшення транскордонних перевезень спонукали транспортні фірми шукати глобальні альянси і велику лібералізацію ринку в секторі

транспорту і зв'язку як засіб залучення інвестицій і підвищення своєї продуктивності [21].

Політика дерегулювання і вилучення в транспортній галузі змусила уряди європейських країн відмовитися від управління, експлуатації та володіння національними перевізниками, портами і аеропортами [21]. Це призвело до серйозної реорганізації міжнародного і національного транспортних секторів з появою транснаціональних транспортних корпорацій, які регулюють глобальні потоки повітряних, морських і наземних перевезень і управляють аеропортами, портами і залізничними станціями.

Транспортні витрати і тарифи

Транспортні системи стикаються з необхідністю збільшення своєї пропускної спроможності і зниження витрат на переміщення. Всі користувачі (наприклад, приватні особи, підприємства, установи, уряд тощо) повинні домовлятися щодо вартості транспортування або формувати тарифи на перевезення товарів, людей, інформації та капіталу, через постійні зміни параметрів системи транспортування і розподілу, таких як тарифи, величина зарплати, місцерозташування, витрати на паливо тощо [21]. Також існують витрати, пов'язані зі збором інформації, веденням переговорів і забезпеченням виконання контрактів і транзакцій, які часто називають витратами на ведення бізнесу. Торгівля пов'язана з трансакційними витратами, які всі агенти намагаються знизити, оскільки вони становлять зростаючу частку ресурсів, споживаних економікою [21, 22].

Часто підприємства і приватні особи повинні прийняти рішення про те, як направляти вантажі через транспортну систему. Це рішення значно розширюється в контексті виробництва легких і коштовних споживчих товарів, таких як електроніка, і менш громіздких виробничих технологій. Транспортні витрати нерідко становлять 20 % від загальної вартості продукту. Таким чином, вибір способу транспортування вантажів між пунктами відправлення і призначення стає важливим і залежить від ряду факторів, таких як параметри товарів, доступність інфраструктури, місцезнаходження пунктів відправлення та призначення, технології транспортування, відстані перевезення. Усі вони разом визначають транспортні витрати [21, 22].

Транспортні витрати – це грошова міра того, що постачальник транспортних послуг повинен платити за надання транспортних послуг. Вони складаються з постійних (інфраструктурних) і змінних (операційних) витрат, які залежать від безлічі умов, пов'язаних з географією, інфраструктурою, адміністративними бар'єрами, енергоспоживанням, а також від того, як перевозяться вантажі.

Три основних компоненти пов'язані з транзакціями, доставкою і відстанню тертя (*friction of distance* – це основний принцип географії, який говорить, що пересування вимагає певних витрат у вигляді фізичних зусиль, енергії, часу і / або витрат інших ресурсів, і що ці витрати пропорційні пройденій відстані), впливають на транспортні витрати [21].

Як показано на рис. 2.12, переміщення між точками А і В включає в себе три компоненти витрат при оцінці транспортних витрат. Відстань тертя показує, скільки одиниць простору можна подолати за одиницю витрат. Відстань - це загальний атрибут, який використовується для її вимірювання. Відправка передбачає режим, що використовується, частоту, а також ефект масштабу [21].

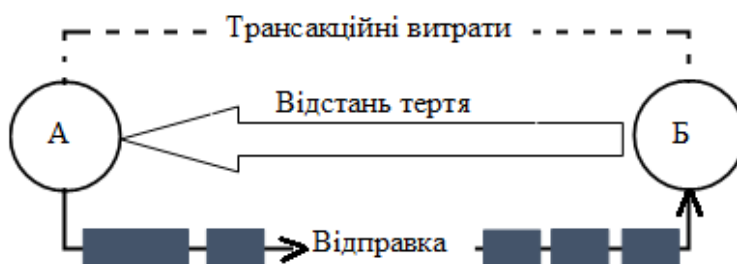


Рисунок 2.12 – Компоненти транспортних витрат [21]

Транзакційні витрати істотно впливають на структуру економічної діяльності, а також на міжнародну торгівлю. Емпіричні дані свідчать, що підвищення транзакційних витрат на 10 % знижує обсяги торгівлі більш ніж на 20 %.

Тарифи – це вартість транспортних послуг, оплачувана їх користувачами. Це узгоджена грошова вартість перевезення одиниці вантажу між конкретним пунктом відправлення та пунктом призначення. Тарифи завжди відомі споживачам, оскільки постачальники транспортних послуг повинні надавати цю інформацію для забезпечення безпеки транзакцій. Вони не обов'язково можуть відображати реальні транспортні витрати [21].

Різниця між витратами і тарифами призводить або до збитків, або до дефіциту з боку постачальника послуг. Беручи до уваги усе наведене вище, встановлення тарифів – складний захід, яке постійно змінюється. На вантажні перевезення і багато видів пасажирських перевезень (наприклад, повітряні перевезення) тарифи піддаються конкурентному тиску. Це означає, що ставка буде коригуватися відповідно до попиту і пропозиції. Вони або відображають витрати, безпосередньо пов'язані з доставкою (вартість послуги), або визначаються вартістю товару (вартість послуги) [21].

Серед найбільш значних умов, що впливають на транспортні витрати і, отже, на транспортні тарифи, є [21]:

- Географія. Її вплив в основному пов'язаний з відстанню і доступністю. Відстань зазвичай є основною умовою, що впливає на транспортні витрати.

- Ефект масштабу. Ще одна умова, що впливає на транспортні витрати, пов'язана з ефектом масштабу або можливістю його застосування, оскільки чим більше перевозиться вантажів, тим нижче питома вартість. Сипкі товари, такі як вугілля, мінерали і зерно, підходять для зниження витрат на транспортування одиниці продукції, якщо вони перевозяться у великих кількостях. Аналогічна тенденція також відноситься до контейнерних перевезень з великими контейнеровозами з більш низькими питомими витратами.

- Енергія. Транспортні послуги є великими споживачами енергії, особливо нафти. Близько 60 % усього світового споживання нафти припадає на транспорт. Також на транспорт зазвичай припадає близько 25 % всього енергоспоживання в економіці.

- Торговий дисбаланс. Дисбаланс між імпортом і експортом впливає на транспортні витрати. Це особливо актуально для контейнерних перевезень, оскільки торговельні дисбаланси передбачають переміщення порожніх контейнерів, що необхідно враховувати в загальних транспортних витратах. Отже, якщо торговий баланс сильно негативний (більше імпорту, ніж експорту), транспортні витрати на імпорт, як правило, вище, ніж на експорт. Та ж умова застосовується на національному і місцевому рівнях, де вантажні потоки часто є односпрямованими.

- Інфраструктура. Ефективність і пропускна здатність видів транспорту і терміналів безпосередньо впливає на транспортні витрати. Погана інфраструктура тягне за собою більш високі транспортні витрати, затримки і негативні економічні наслідки. Більш розвинені транспортні системи, як правило, мають більш низькі транспортні витрати, оскільки вони більш надійні і можуть витримувати більшу кількість переміщень.

- Види транспорту. Для різних видів транспорту характерні різні транспортні витрати, оскільки у кожного свої обмеження щодо пропускної здатності і умови експлуатації. Коли два або більше виду транспорту безпосередньо конкурують за один і той же ринок, результат часто призводить до зниження транспортних витрат.

- Конкуренція і регулювання. Це стосується складного конкурентного і нормативного середовища, в якому здійснюються перевезення. Транспортні послуги, що надаються у висококонкурентних сегментах, як правило, дешевше, ніж в сегментах з обмеженою конкуренцією (олігополія або монополія). Міжнародна конкуренція сприяє концентрації в багатьох сегментах транспортної галузі, а саме в морському і повітряному транспорті. Такі правила, як тарифи,

каботажні закони, умови праці і техніки безпеки, накладають додаткові транспортні витрати.

Види транспортних витрат

Можна розглянути різні транспортні витрати [21]:

- Вантажні перевезення на борту (FOB). Ціна товару – це сума заводських витрат і витрат на доставку від заводу до споживача. У разі FOB витрати з транспортування вантажу оплачує споживач. Отже, ціна товару буде варіюватися залежно від транспортних витрат і відстані.

- Витрати - Страхування - Фрахт (CIF). Враховує вартість товару, витрати на страховку і транспортні витрати. Передбачається однакова ціна доставки для всіх клієнтів у всьому світі, без її змінювання залежно від вартості доставки. Середня ціна доставки врахована у вартості товару. Структура витрат CIF може бути розширена за рахунок включення декількох тарифних зон, наприклад, одна для місцевих, інша для країни і третя для експорту.

- Термінальні витрати. Витрати, пов'язані з навантаженням, перевалкою і розвантаженням. Можна навести дві основні статті витрат на термінал: навантаження і розвантаження в пункті відправлення та призначення, які неминучі, і проміжні (перевантажувальні) витрати, яких можна уникнути.

- Вартість лінійного рейсу. Витрати, які залежать від відстані, на яку перевозиться одиниця вантажу. Вага також є функцією витрат, коли мова йде про фрахт. Зазвичай вони виключають витрати на перевалку.

- Капітальні витрати. Витрати, що відносяться до фізичних активів транспорту, в основному інфраструктури, терміналів і транспортних засобів. Вони включають придбання або істотне поліпшення основних фондів, що часто може бути разовим заходом. Оскільки матеріальні активи з часом знецінюються, необхідні регулярні капітальні вкладення для обслуговування.

При структурі витрат на умовах FOB для клієнтів, розташованих поблизу, загальні витрати будуть нижчими, ніж для клієнтів, які перебувають далі (рис. 2.13). Відповідно до структури витрат CIF, з кожного споживача стягується одна і та ж ціна, яка зазвичай відображає середні транспортні витрати. Клієнти, розташовані поруч з виробництвом, «субсидують» витрати, які несуть клієнти, розташовані далі. Така структура цін характерна для товарів народного споживання [21].

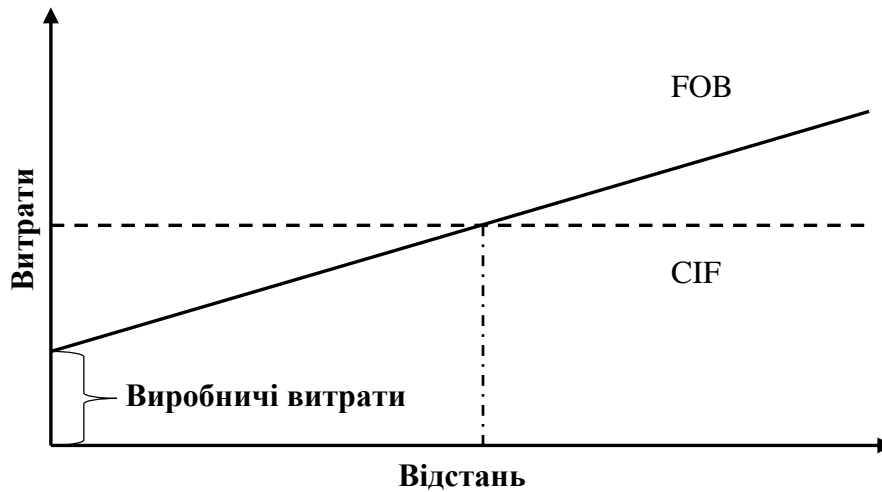


Рисунок 2.13 – Витрати за умов FOB і CIF [21]

Процес розрахунку реальних ставок фрахту для транспортної компанії може бути складним, особливо при наявності великої кількості клієнтів. Звичайний відповідь на цю проблему – встановити набір географічних зон, в яких фрахтові ставки рівні (рис. 2.14) [21].

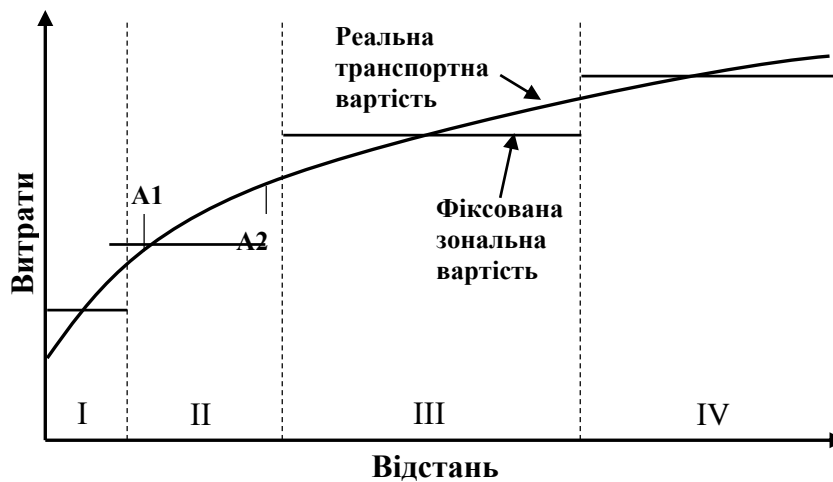


Рисунок 2.14 – Зональні фрахтові ставки [21]

Ставка зазвичай встановлюється за принципом CIF, коли найближчі клієнти в зоні частково субсидують найвіддаленіших клієнтів. Наприклад, в рамках системи зональних тарифів клієнт, розташований в A1, платить за тією ж ставкою, що і клієнт, розташований в A2. В системі, заснованій на відстані, покупець в A1 заплатив би нижчу ставку, ніж покупець з A2. Багато систем громадського транспорту також використовують структуру зональних тарифів.

Постачальники транспортних послуг приймають безліч рішень на основі своєї структури витрат, яка залежить від усіх вищезазначених видів транспортних витрат. Помітно зростає роль транспортних компаній в загальному контексті глобальної комерційної географії [21].

Однак характер цієї ролі змінюється в результаті зниження транспортних витрат, та зростаючих витрат на інфраструктуру, в основному через збільшення потоків і конкуренції за землю. Кожен транспортний сектор повинен враховувати відмінності у важливості різних транспортних витрат [21].

Технологічні зміни і пов'язане з ними зниження транспортних витрат послабили зв'язок між видами транспорту і їх терміналами. Менше уваги приділяється важкій промисловості на відміну від виробництва і транспортних послуг. Дійсно, до транспортної діяльності прищеплюються нові функції, які відтепер спрощують логістичні та виробничі процеси. Таким чином, відносини між операторами терміналів і перевізниками придбали вирішальне значення, особливо в контейнерних перевезеннях [21]. Вони необхідні для подолання фізичних і тимчасових обмежень перевалки, особливо в портах.

Вимоги міжнародної торгівлі привели до розвитку спеціалізованих і посередницьких фірм, що надають транспортні послуги. Це фірми фізично не транспортують товари, але вони необхідні для спрощення групування, зберігання і обробки вантажів, а також для складної документації та фінансових і юридичних операцій, пов'язаних з міжнародною торгівлею [21]. Останнім часом намітилася тенденція до консолідації цих різних проміжних функцій, і зростаюча частка світової торгівлі в даний час організовується багатонаціональними корпораціями, які пропонують послуги логістики «від дверей до дверей».

Логістичні витрати і вибір виду транспорту

Альтернативні транспортні і логістичні рішення, потрібно приймати залежно від параметрів транспорту, технології перевезення вантажів і попиту на перевезення.

Транспортно-логістичні рішення приймаються в контексті середньострокової політики компанії, наприклад, на один рік. При цьому існує поняття контрольної кількості вантажу – це загальна кількість вантажів типів (Q_{ij}^s), які компанія повинна відправити у відповідний час із зони i в зону j . На даний параметр впливає рішення щодо визначення кількості товарів q для кожної поставки, кількості поставок φ протягом року і який вид транспорту m доцільно використовувати для мінімізації загальних логістичних витрат [23]. На рис. 2.15 наведено приклад можливих альтернатив використання різних видів транспортування: залізничне, автомобільне і комбіноване автомобільно-залізничне. На вибір тієї чи іншої технології доставки впливають параметри.

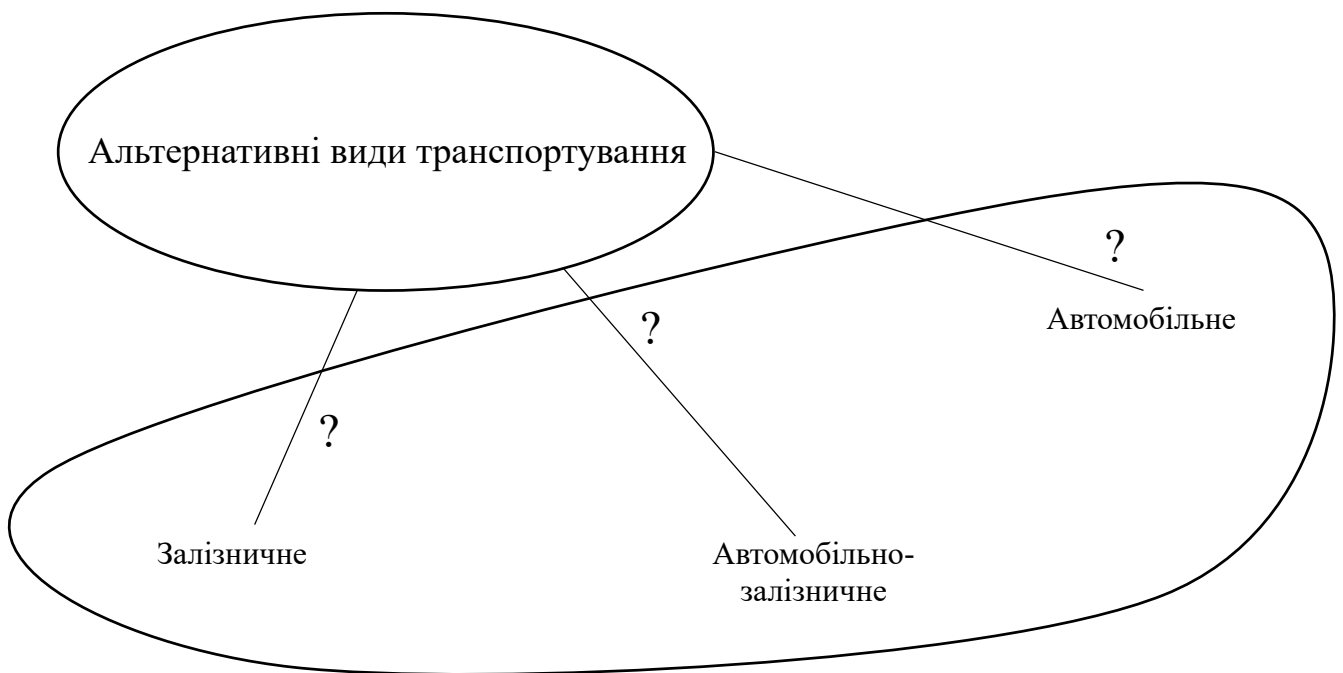


Рисунок 2.15 – Постановка задачі вибору виду транспортування для здійснення перевезень [23]

Кожен з альтернативних видів транспортування може мати альтернативні види рухомого складу, якими можна виконувати заданий обсяг перевезень. Вибір того чи іншого виду транспортного засобу визначає технологічні і економічні показники функціонування. Якщо розглядати можливість виконання перевезень автомобільним транспортом, то це можуть бути, наприклад, вантажні автомобілі вантажопідйомністю 20–46 т. За умови використання залізничного виду транспорту перевезення можливо здійснювати, наприклад, звичайним або двовісним вагоном. Комбінований транспорт передбачає використання контейнерних і контрейлерних перевезень (рис. 2.16) [23].

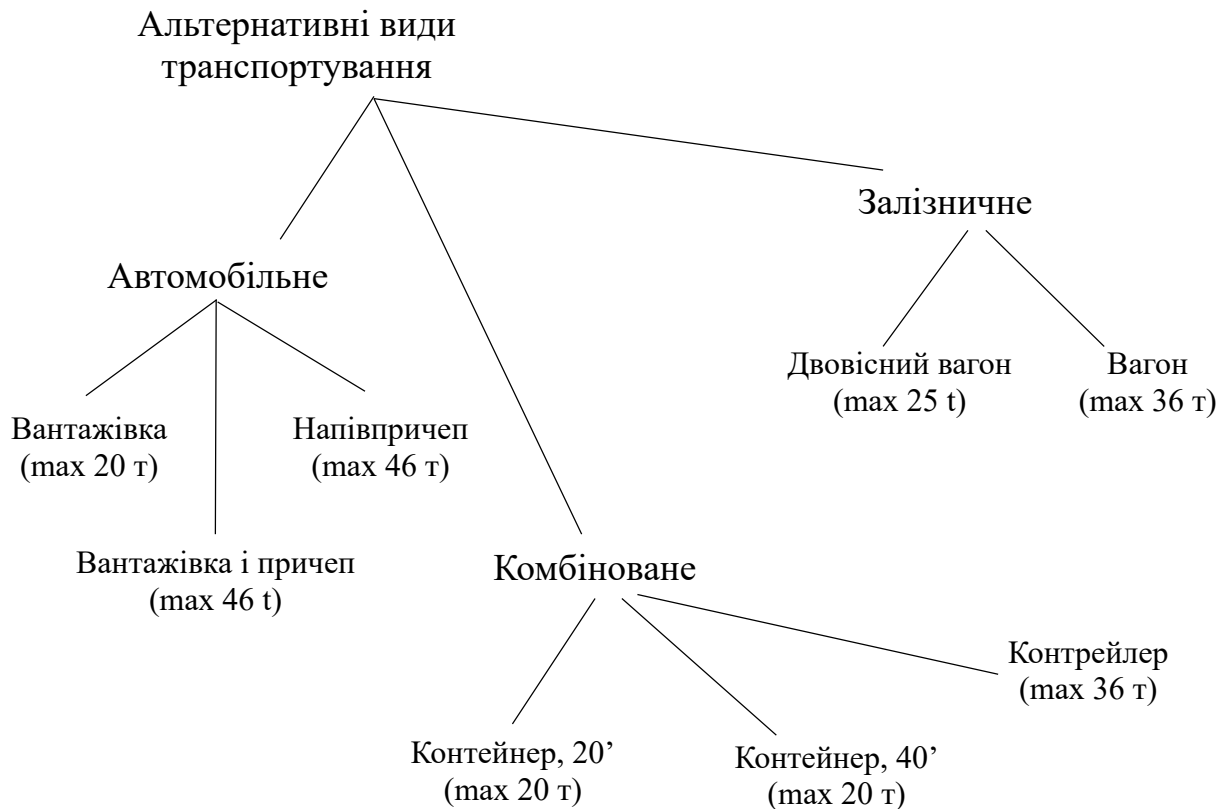


Рисунок 2.16 – Альтернативні види транспортування і можливий рухомий склад [23]

Відповідно до поставленого завдання в рамках прикладу потрібно ухвалити транспортні і логістичні рішення. Якщо увести обмеження для простоти подання проблеми, то отримуємо, що кількість q_{ij}^s для кожної позиції є постійною [23]:

$$Q_{ij}^s = \varphi_{ij}^s \cdot q_{ij}^s, \quad (2.2)$$

де φ_{ij}^s – кількість поставок вантажів за контрольний час, необхідна для перевезення загальної кількості Q_{ij}^s .

У даному випадку на вибір рішення щодо застосування того чи іншого виду транспорту і технології перевезення впливає величина річної логістичної вартості. Даний показник має компоненти [23]:

1. Транспортно-логістичні витрати, $C_{тq}$.
2. Вартість основних засобів при транспортуванні, $T_{тq}$.
3. Вартість зберігання:
 - вартість основних засобів протягом строку зберігання (запаси, I_q);
 - сплата за використання складської площі, A_q .

4. Витрати на адміністративні операції (управління замовленнями, послуги з трекінгу тощо), O_{mq} .

5. Витрати на крадіжки (F_m), на пошкодження (D_m).

6. Витрати через порушення регулярності поставок (порушення графіків), W_m .

Фінансова вартість основних засобів під час транспортування і зберігання можна розрахувати за формулою [23]:

$$C_{im} = q \cdot VM \cdot t \cdot r_t, \quad (2.3)$$

де q – основні засоби кількості вантажу, т;

VM – грошовий вираз одиниці вантажу, грн./т;

t – час поставки основних засобів (наприклад, транспортування і зберігання), діб;

r_t – денна ставка дисконтування.

Денна ставка дисконтування може бути розрахована за залежністю [23]:

$$r_t = \frac{r}{365}, \quad (2.4)$$

де r – річна ставка дисконтування.

Вартість основних засобів при транспортуванні розраховується за такою залежністю [23]:

$$T_{mq} = \varphi_{ij}^s \cdot t_{mq} \cdot q_{ij}^s \cdot VM \cdot r_t, \quad (2.5)$$

де t_{mq} – час транспортування обсягу вантажу q_{ij}^s видом транспорту m , діб.

Транспортно-логістичні витрати сплачуються замовниками цих послуг відповідно до необхідних до перевезення обсягів вантажу Q_{ij}^s [23]:

$$C_{mq} = c_{mq} \cdot \varphi_{ij}^s = c_{mq} \frac{Q_{ij}^s}{q_{ij}^s}, \quad (2.6)$$

де c_{mq} – вартість транспортування видом транспорту m для кожної поставки обсягу вантажу q_{ij}^s ;

q_{ij}^s – обсяг однієї поставки видом транспорту m , т.

Вартість зберігання вантажу на складі складається з вартості основних засобів протягом періоду зберігання і витрат на зберігання (рис. 2.17) [23].

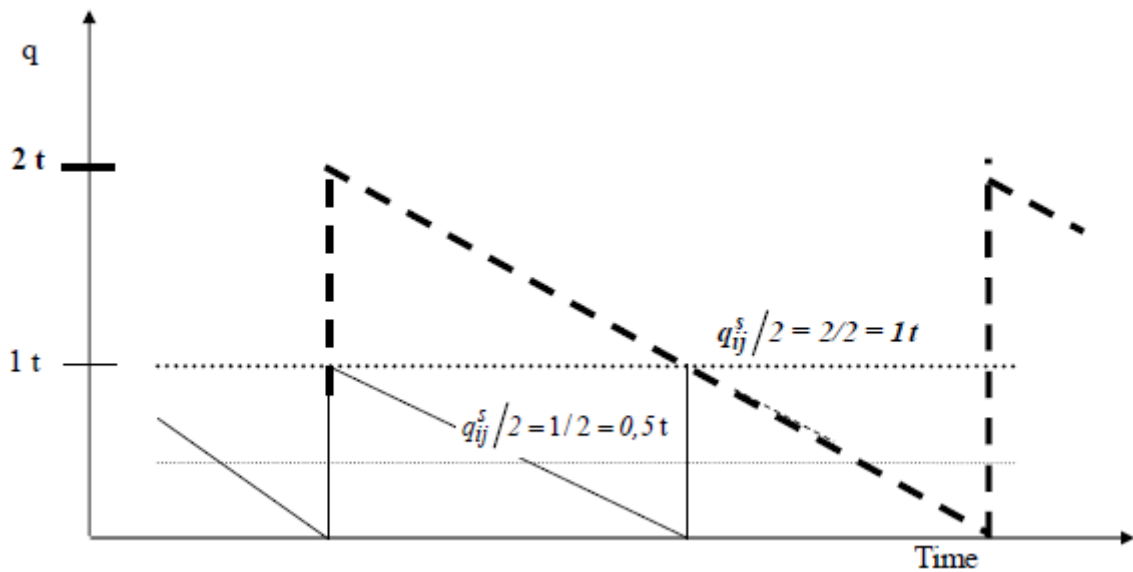


Рисунок 2.17 – Графік руху запасів [23]

Вартість основних засобів можна розрахувати за формулою [23]:

$$I_q = \frac{q_{ij}^s}{2} \cdot VM \cdot t \cdot r_t, \quad (2.7)$$

Витрати на зберігання розраховуються за залежністю [23]:

$$A_q = q_{ij}^s \cdot A \cdot a_q, \quad (2.8)$$

де A – площа, яка необхідна для зберігання вантажної одиниці, m^2 ;

a_q – тариф зберігання вантажної одиниці, грн./ m^2 .

Зі збільшенням обсягу партії поставки при фіксованому загальному обсягу для перевезення річні транспортні витрати зменшуються. При цьому збільшується вартість основних засобів і витрати на зберігання [23]. Оптимальний розмір партії поставки можна визначити шляхом розрахунку загальних витрат (рис. 2.18).

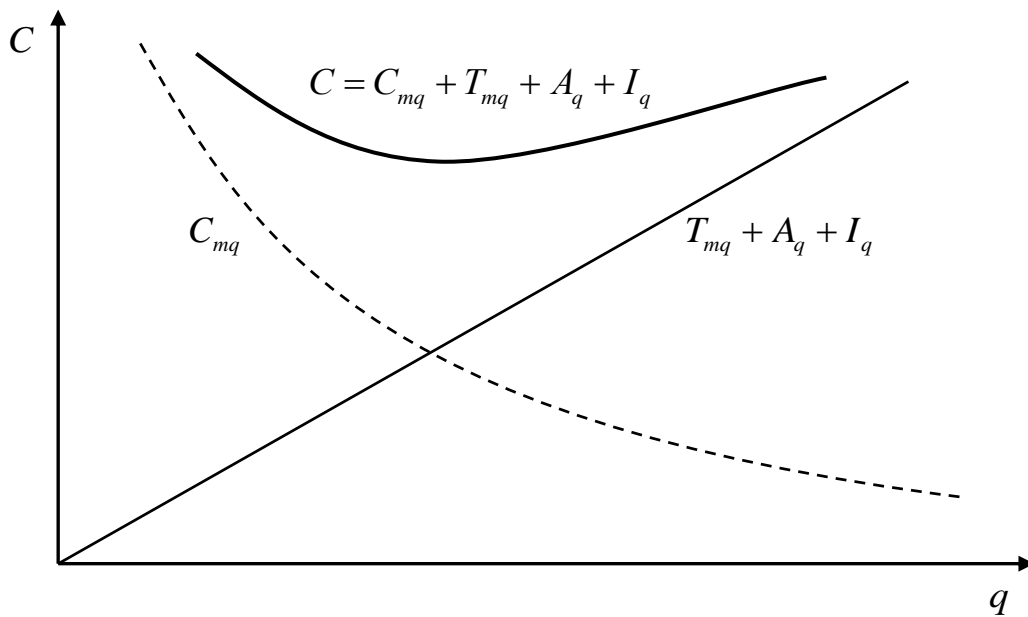


Рисунок 2.18 – Оптимальний розмір партії поставки [23]

Річна вартість збору і оброблення замовлень, а також послуг з трекінгу можна розрахувати за формулою [23]:

$$Q_{mq} = x_q \cdot \varphi_{ij}^s = \frac{x_q \cdot Q_{ij}^s}{q_{ij}^s}, \quad (2.9)$$

де x_q – вартість обробки одного замовлення, грн.

Витрати, пов'язані з втратою вантажу через крадіжки, які можливі у випадку використання виду транспорту m , з урахуванням усіх відправок, необхідних для перевезення загального обсягу Q_{ij}^s [23]:

$$F_m = PL_m \cdot Q_{ij}^s \cdot VM, \quad (2.10)$$

де PL_m – відсоток вкраденого вантажу по відношенню до загального обсягу доставлених вантажів видом транспорту m , %.

Витрати, пов'язані з пошкодженням вантажу під час транспортування видом транспорту m розраховуються за такою залежністю [23]:

$$D_m = PD_m \cdot Q_{ij}^s \cdot VM, \quad (2.11)$$

де PD_m – відсоток пошкодженого вантажу по відношенню до загального обсягу доставлених вантажів видом транспорту m , %.

Витрати, пов'язані з порушенням часу або графіку поставок може призвести до сплати штрафу за затримку і причинити шкоду іміджу транспортного оператора. Ці витрати визначаються залежно від умов договорів.

Отже річні логістичні витрати будуть дорівнювати [23]:

$$CL_{ij}[mq] = \gamma_C \cdot C_{mq} + \gamma_T \cdot T_{mq} + \gamma_I \cdot I_q + \gamma_O \cdot O_{mq} + \gamma_F \cdot F_m + \gamma_D \cdot D_m + \gamma_W \cdot W_m, \quad (2.12)$$

$$CL_{ij}[mq] = \sum_u \gamma_u^{mq} X_{mq,u} \quad (2.13)$$

де $X_{mq,u}$ – u -та логістична складова витрат, що відноситься до альтернативи mq ; γ_u^{mq} – u -та вага компоненти $X_{mq,u}$, що пов'язана з альтернативою mq .

Прийняття рішення повинно базуватися на комбінації mq , яка буде мінімізувати логістичні витрати (рис. 2.19).

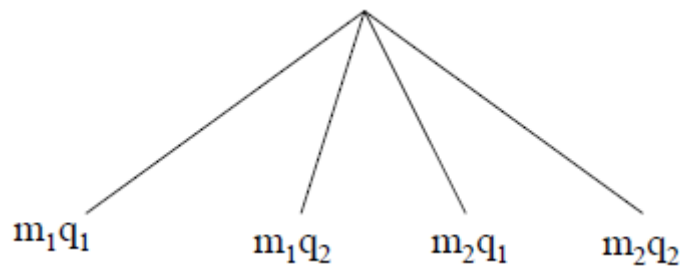


Рисунок 2.19 – Альтернативи вибору транспорту для здійснення перевезень

2.3. Оцінка сценаріїв вантажних перевезень

2.3. Assessing freight scenarios

Сценарії вантажних перевезень

Оцінку сценаріїв вантажних перевезень проведемо на прикладі оцінки потенціалу коротких морських перевезень в порівнянні з автомобільним і комбінованим автомобільно-залізничними видами перевезення.

Європейський Союз (ЄС) поставив завдання зменшити вплив негативних зовнішніх факторів, пов'язаних з автомобільними перевезеннями (затори, вплив на навколишнє середовище тощо), і визначив деякі цілі для створення конкурентоспроможної та ресурсоефективної транспортної системи [24]. Одна з таких цілей – це перехід від автомобільного транспорту до інших більш стійких видів транспорту, таких як залізничний або водний транспорт. Короткі морські

перевезення (Short Sea Shipping – SSS), що визначаються Європейською комісією як морські перевезення вантажів між портами ЄС, з одного боку, і портами, розташованими в географічній Європі на Середземному і Чорному морі, з іншого [25], можуть бути засобом для досягнення таких цілей. Розвиваючи Транс'європейську мережу (TEN-T), Європейська комісія запланувала 30 пріоритетних напрямків і проєктів, включаючи наземні і морські транспортні мережі, а також реалізацію ліній і послуг SSS [26]. Що стосується кількості вантажів, перевезених в або з основних європейських портів, то в 2017 році SSS залучила понад половини них (майже 58%). Однак, якщо зосередити увагу на басейні Середземного моря, частка вантажів, перевезених SSS в тому ж році, була близька до 33% [25], навіть з урахуванням того факту, що деякі перевезення можливі тільки по морю (тобто, в напрямку островів).

Кілька досліджень щодо коротких морських перевезень (SSS) підкреслили конкуренцію SSS в порівнянні з видами наземного транспорту і можливі вигоди, що можна одержати від збільшення частки такого виду перевезень у загальному обсязі.

SSS – це вид транспорту, який, як відомо, конкурує з наземним транспортом [27]. Питання про вибір виду транспорту вирішуються в різних наукових працях [28], де визначаються фактори, що впливають на цей процес (наприклад, вартість, частота, надійність). Щоб визначити атрибути, що впливають на вибір способу, пропонують заявлений підхід переваг для перевірки потенційного успіху ініціатив, спрямованих на розширення використання SSS [29]. У моделях вибору враховуються такі атрибути: частота, час доставки, відстань, напрям (*headhaul/backhaul*), вікно доставки, надійність і ціна, пропонована операторами [30]. Щоб надати інформацію про ефективність автомобільних і інтермодальних перевезень з використанням SSS, вченими також пропонуються моделі витрат і часу, беручи до уваги атрибути, пов'язані з технічним і експлуатаційним умовами, маршрутами, параметрами вантажних одиниць [31]. Широке використання морського судноплавства у технології SSS приведе до скорочення негативних зовнішніх ефектів автомобільних перевезень на європейському рівні.

Методологія оцінки сценаріїв

Оцінку можливих сценаріїв при використанні різних видів транспорту можна представити у вигляді схеми (рис. 2.20) [32].

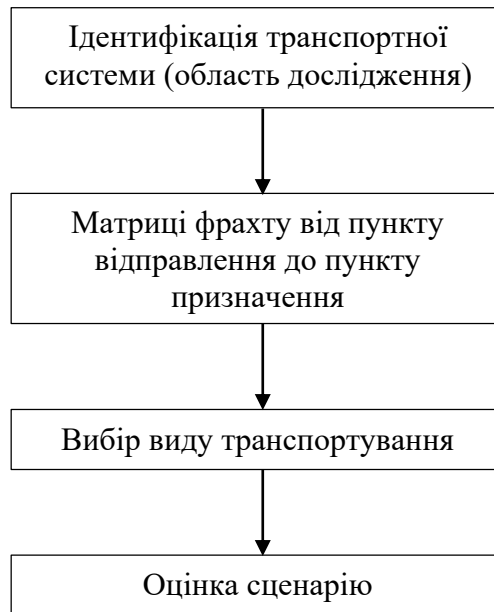


Рисунок 2.20 – Методологія оцінки сценарію [32]

Представлена методологія може підтримувати аналіз конкуренції сервісів SSS і передбачає такі етапи [32]:

1. Ідентифікація транспортної системи (область дослідження). Мета цього етапу – виявити елементи аналізованої системи і їх взаємозв’язок;

2. Матриці кореспонденцій (O-D). Цей етап спрямований на оцінку матриць O-D, він інтегрований і пов’язаний з ідентифікацією транспортної системи;

3. Вибір виду транспортування. Відповідні взаємодії між різними елементами системи вантажних перевезень моделюються для того, щоб оцінити, як соціально-економічні характеристики, а також рівень атрибутів обслуговування впливають на вибір виду транспорту; цей етап забезпечує вихідні дані для майбутньої оцінки сценарію;

4. Оцінка майбутнього сценарію. Різні сценарії проектування були реалізовані відповідно до різних гіпотез про подальший розвиток послуг SSS, виходячи з національних та наднаціональних планів. Після цього розраховуються деякі метрики сценарію та/або показники ефективності і оцінюються впливи для пропонованих майбутніх сценаріїв, які можна порівняти з цільовими.

Ідентифікація транспортної системи

Мета цього етапу – визначити елементи, складові системи аналізу, і їх взаємозв’язок. Вони відносяться трьох сфер:

- демографічні, економічні та просторові характеристики попиту на транспорт;
- постачання транспортних і логістичних інфраструктур і послуг;
- зовнішнє середовище, оскільки воно відіграє роль в оцінці деяких впливів.

Матриці кореспонденцій (origin-destination O-D)

Визначення пропозицій вантажних послуг та оцінки їх впливу вимагає точні знання про попит на вантажні перевезення, які можуть бути розроблені з використанням системи моделювання для прогнозних сценаріїв, а для поточних сценаріїв вони можуть бути отримані з джерела. Хоча в літературі міститься кілька методів і моделей, розроблених для моделювання попиту на вантажні перевезення [33], багато з них вимагають великої інформації, а матриці кореспонденцій, отриманих з джерел досить агреговані при відтворенні вантажних потоків між країнами. Тому для поділу вантажних потоків O-D по країнам зазвичай використовуються методи дезагрегування [34].

Враховуючи дві зони o і d , що належать двом країнам R і S , відповідно, кількість вантажів, якими обмінюються зони o і d , q_{od} , можна розрахувати так:

$$q_{od} = q_{RS} \cdot \frac{(X_o)^{\beta_o} \cdot (c_{od})^{\beta_c}}{\sum_{h \in R, k \in S} (X_h)^{\beta_o} \cdot (c_{hk})^{\beta_c}}, \quad (2.14)$$

де X_o – вартість виробництва в регіоні O (рівна регіональному ВВП);

c_{od} – середні транспортні витрати між зонами o і d ;

R – країна відправлення, в якій знаходиться зона o ;

S – країна призначення, в якій знаходиться зона d ;

q_{RS} – вантажопотік між країнами R і S ;

β_o і β_c – параметри моделі для калібрування.

Вибір виду транспортування (mode choice)

Модель вибору режиму перевезення вантажів грає ключову роль в методології оцінки. Вона моделює конкуренцію між альтернативними видами транспорту (наприклад, комбінований автомобільно-залізничний транспорт, SSS і автомобільний транспорт). Для прогнозування довгострокових ефектів модель вибору режиму обслуговування може бути визначена за допомогою легко фіксованих змінних, в основному представлених атрибутами рівня

обслуговування з використанням консигнаційного підходу [35]. Отже, припускаючи фіксовану кількість q для даної вантажної одиниці, ймовірність p $[m/od]$ використання транспортного виду обслуговування m для переміщення вантажу у вантажних одиницях (наприклад, контейнерах або знімних кузовах) із зони відправлення o в зону призначення d можна виразити як:

$$p[m / od] = \frac{\exp(V_m^{od})}{\sum_{m'} \exp(V_{m'}^{od})} \forall m' \neq m, m' \in I_{od}, \quad (2.15)$$

де I_{od} – це набір можливих видів транспортних послуг, доступних на парі od (наприклад, автомобільний, комбінований автомобільно-залізничний, морський);

V_m^{od} – систематична корисність транспортного виду послуг m , яка може бути виражена як лінійна комбінація атрибутів $X_{m'}^{od}$ (наприклад, час у дорозі і грошові витрати) так:

$$V_m^{od}(X_{m'}^{od}) = \sum_k \beta_{m,k} \cdot X_{m,k}^{od} \quad (2.16)$$

де $\beta_{m,k}$ – параметрами моделі оцінки.

Оцінка сценаріїв

Для проектування і оцінки транспортних систем, на додаток до параметрів ефективності, що сприймаються користувачами, потрібно моделювати впливи, які відчувають користувачі, але не сприймаються при їх виборі мобільності, і впливів на «не користувачів» [32]. Приклади першого типу включають непрямі витрати на транспортні засоби та ризики аварій з їх наслідками. Впливи на «не користувачів» включають впливи на інших суб'єктів, безпосередньо залучених в транспортну систему, такі як витрати і доходи постачальників транспортних послуг, і «зовнішні» впливи по відношенню до транспортної системи (або ринку). Прикладами «зовнішніх» є впливи на ринок нерухомості або на навколишнє середовище, такі як шум і забруднення повітря. Часто такі функції називаються по імені конкретного впливу, яке вони моделюють (наприклад, функції витрати палива або функції викидів забруднюючих речовин). Деякі впливи можуть бути пов'язані з індивідуальними мережевими зв'язками і залежати від потоків. Вони включають [32]:

- вплив на користувачів (наприклад, час у дорозі і загальні витрати на поїздку);
- вплив на зовнішні чинники, не пов'язані з користувачем (наприклад, забруднення повітря, споживання енергії).

Отже, сценарії можна оцінювати за показниками економічної (наприклад, пов'язаною з ефективністю), соціальної (наприклад, пов'язаною з заторами і безпекою) і екологічної стійкості. Отримані значення показників порівнюються з деякими довідковими значеннями (цілями). Індикатори, вибрані для етапу попередньої оцінки, можна відстежувати в ході ретроспективної оцінки, щоб відстежувати їх реальну еволюцію в часі [32]. Ці індикатори можуть бути розроблені з урахуванням набору змінних, що просуваються Європейським агентством з навколишнього середовища. Фактично, список індикаторів TERM охоплює найбільш важливі аспекти транспортної та екологічної системи (рушійні сили, навантаження, стан навколишнього середовища, вплив і реакції суспільства). Він являє собою довгострокове бачення показників, які в ідеалі необхідні для відстеження прогресу та ефективності стратегій інтеграції транспорту і навколишнього середовища [32].

Приклад з оцінки сценаріїв вантажних перевезень

Запропоновану методологію оцінки було застосовано для оцінки майбутнього потенціалу судноплавства на короткі відстані (SSS) і його переваг з точки зору більш низьких зовнішніх витрат в північно-західному басейні Середземного моря у роботі [32]. Приклад орієнтований тільки на вантажні потоки між Італією та іншими країнами Середземномор'я, в яких SSS може бути розумною альтернативою, не вимагаючи істотних змін в діяльності транспортних операторів.

Ідентифікація транспортної системи

Після того, як район дослідження було визначено, було проведено зонування, взявши за основу основні порти Ro-Ro. Зони вибиралися такі, в яких є доступ по морю і принаймні іще одним інший варіантом транспорту (наприклад, комбіновані автомобільно-залізничні перевезення, як показано на рис. 2.21) [32]:

- Італія з портами Ancona, Brindisi, Catania, Civitavecchia, Genova, Livorno, Marghera і Ravenna, Salerno, Savona, Trieste;
- Франція з портом Marcel;
- Іспанія з портами Barcelona і Valencia;
- Словенія з портом Koper;
- Хорватія з портами Dubrovnik і Split;
- Чорногорія з портом Bar;
- Албанія з портом Durres;
- Греція з портами Igoumenitsa і Patras.



Рисунок 2.21 – Основні порти Ro-Ro, що розглядаються в північно-західному басейні Середземного моря [32]

Для кожного зазначеного порту Ro-Ro була розглянута зона впливу в радіусі 300 км для визначення зон руху, взятих за зразок для зонування. Прийняте зонування і подальша реконструкція попиту на транспорт здійснювалися з урахуванням рівня регіонального зонування, в якому зони руху збігаються з регіонами, а матриці o-d є міжрегіональними. Всього було виявлено 86 зон [32].

Поточний транспортний сценарій (2018 г.) був визначений виходячи з існуючої системи вантажних перевезень, включаючи інтермодальні і логістику. Виходячи з характеристик вантажних перевезень в Середземномор'ї, транспортні послуги в основному включають автомобільний, залізничний (традиційний і комбінований) і морський (морські магістралі - SSS) [32].

У поточному сценарії в цілому 958 щотижневих вантажних перевезень (784 комбінованих автомобільно-залізничних перевезень і 174 послуги SSS) були розглянуті для 70 терміналів (14 портів і 56 інтермодальних терміналів) [32].

Модель SSS

У басейні Середземного моря існує безліч сервісів SSS / Ro-Ro, і для побудови поточного транспортного сценарію було розглянуто 174 міжнародних щотижневих сервісів Ro-Ro, включаючи порти, що розглядаються, з частотою не менше одного корабля в тиждень. Вони охоплюють 12 пар відправлення і призначення. Перевезення між Сардинією і Африкою були виключені при визначенні пропозиції з послуг, оскільки для цього регіону і континенту послуги Ro-Ro є виключний вид транспорту, а не одну з можливих альтернативних видів транспорту, тоді як Сицилія розглядалася, припускаючи, що наявність

автомобільної дороги з острова до материка дозволяє поєднати ці регіони за допомогою автомобільного транспорту [32].

Модель пропозиції SSS дозволяє отримати такий рівень атрибутів обслуговування матриці O-D: відстань переміщення; час у дорозі (час повернення, включаючи час входу/виходу); вартість проїзду і частота. На рис. 2.22 показані морські лінії [32].

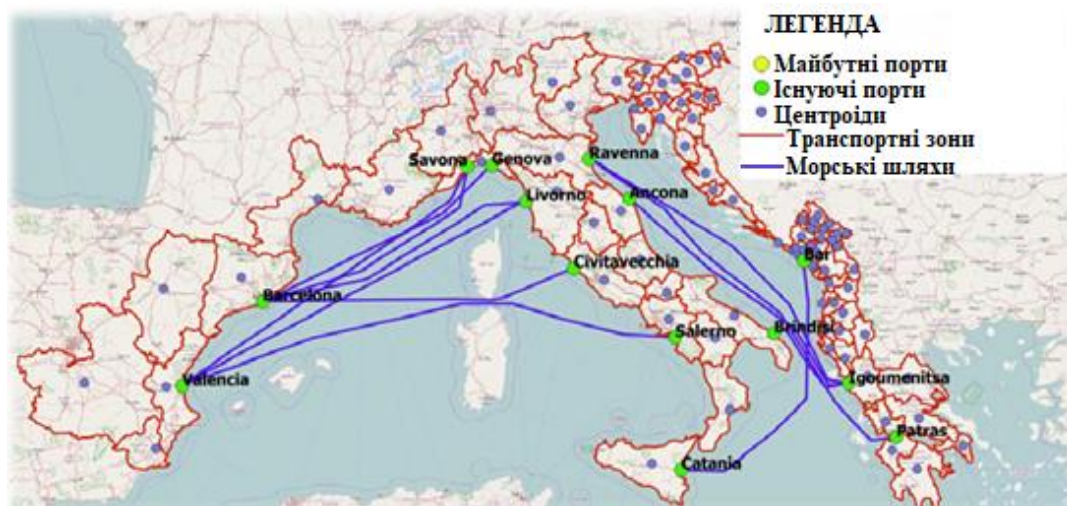


Рисунок 2.22 – Морські лінії SSS в регіоні, що розглядається [32]

Середній рівень атрибутів послуг (174 щотижневі послуги) наведені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Середній рівень атрибутів послуг при SSS перевезеннях [32]

Матриця кореспонденцій	Іспанія	Італія	Чорногорія	Греція
Іспанія	-	375 км, 9 год, 599 €, 2 поїздки/тиждень	-	-
Італія	375 км, 9 год., 599 €, 2 поїздки/тиждень	- - -	107 км, 2 год., 179 €, 3 поїздки/тиждень	125 км, 3 год., 203 €, 1 поїздка/тиждень
Чорногорія	-	107 км, 2 год., 179 €, 3 поїздки/тиждень	-	-
Греція	-	125 км, 3 год., 203 €, 1 поїздка/тиждень	-	-

*Модель постачання вантажів
при комбінованих автомобільно-залізничних перевезеннях*

Так само, як і для моделі поставки SSS, модель поставки комбінованих автомобільних і залізничних перевезень відноситься до всієї національної та міжнародної мережі, що представляє інтерес для вантажних перевезень. При цьому приватні залізниці і ті, для, що використовуються лише для перевезення пасажирів не враховувалися. Відповідно до прийнятого рівня зонування була описана вся залізнична інфраструктура, що має відношення до зв'язків між зонами досліджуваної території. Всього було враховано 1 998 098 км залізничної мережі, представленій двосторонніми зв'язками і репрезентативними вузлами станцій і вантажних терміналів [32]. Вигляд реалізованої топологічної моделі наведений на рис. 2.23.

Середній рівень атрибутів сервісу для автомобільно-залізничного сполучення наведений в табл. 2.6.



Рисунок 2.23 – Комбіноване автомобільно-залізничне сполучення в регіоні, що розглядається [32]

Таблиця 2.6 – Середній рівень атрибутів послуг при автомобільно-залізничних перевезеннях [32]

Матриця кореспонденцій	Іспанія	Італія	Чорногорія	Греція
Іспанія	-	1728 км, 72 год., 1267 € 2 поїздки/тиждень	-	-
Італія	1728 км, 72 год., 1267 €, 2 поїздки/тиждень	-	1449 км, 35 год., 721 €, 1 поїздка/тиждень	2253 км, 118 год., 1759 €, 3 поїздки/тиждень

Чорногорія	-	1449 км, 35 год, 721 €, 1 поїздка/тиждень	-	-
Греція	-	2253 км, 118 год., 1759 €, 3 поїздки/тиждень	-	-

Модель постачання вантажів автомобільним видом транспорту

Постачання вантажів автомобільним транспортом було побудовано так, щоб представляти всі основні національні та міжнародні дорожні інфраструктури. Для дорожньої мережі основними розглянутими інфраструктурами були такі: автомагістралі, розв'язки автомагістралей і головні дороги, здатні адекватно задовольняти потреби в транспорті, реалізовані у використовуваній моделі попиту. До вищезгаданої дорожньої інфраструктурі були додані провінційні дороги, які були необхідні для з'єднання всіх національних і міжнародних маршрутів і основних морських маршрутів. В результаті був розрахований рівень атрибутів обслуговування (рис. 2.24) як сума часу в дорозі і часу стоянки [32].



Рисунок 2.24 – Автомобільне сполучення в регіоні, що розглядається [32]

Середній рівень атрибутів сервісу для автомобільного сполучення наведений в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Середній рівень атрибутів сервісу
для автомобільного сполучення [32]

Матриця кореспонденцій	Іспанія	Італія	Чорногорія	Греція
Іспанія	-	1728 км, 44 год., 2703 €	-	-
Італія	1728 км, 44 год., 2703 €	-	1449 км, 37 год., 2265 €	2253 км, 58 год., 3523 €
Чорногорія	-	1449 км, 37 год., 2265 €	-	-
Греція	-	2253 год., 58 год., 3523 €	-	-

Визначення матриці кореспонденцій

Попит на перевезення виражається за допомогою O-D матриць, елементи яких представляють потік вантажів в заданий час між територіальними областями. Отже, попит корелює з раніше описаним поділом досліджуваної території на зони. Процес, який використовується для визначення загального попиту на вантажні перевезення для даного виду транспорту в досліджуваній області, почався з пошуку і гомогенізації всіх баз даних, наданих Євростатом. У тематичному розділі транспорту Євростат надає дані про рух, що відносяться до окремих видів транспорту в сукупності і в дезагреговані терміни. В останньому випадку особлива увага приділяється портовому трафіку [32].

В табл. 2.8 представлені обсяги вантажних перевезень між країнами досліджуваної території. Розглянувши рівень регіонального зонування, виникає необхідність побудови O-D матриць для кожного виду транспорту, що розглядається в аналізі. Однак, оскільки регіональні дані не були доступні безпосередньо, була розроблена модель регіоналізації (модель 2.14), здатна дезагрегувати дані про національні потоки в регіональні.

Таблиця 2.8 – O-D матриця на рівні країни [32]

Матриця кореспонденцій	Іспанія	Італія	Чорногорія	Греція
Іспанія	-	SSS: 652,000 (26%) Залізничний: 272,000 (5%) Автомобільний: 3,664,000 (69%)	-	-
Італія	SSS: 603,000 (28%) Залізничний: 141,000 (3%)	-	SSS: 1000 (58%) Залізничний: 2000 (16%) Автомобільний: 10,000 (26%)	SSS: 245,000 (73%) Залізничний: 9000 (0%)

	Автомобільний: 3,294,000 (69%)			Автомобільний: 858,000 (27%)
Чорногорія	-	SSS: 1000 (50%) Залізничний: 8000 (35%) Автомобільний: 9000 (15%)	-	-
Греція	-	SSS: 256,000 (70%) Залізничний: 2000 (0%) Автомобільний: 947,000 (30%)	-	-

Вибір виду транспортування

Після визначення O-D матриць наступним кроком є створення моделі вибору виду транспорту. Метою моделі було узагальнити процес вибору користувача. Використовувана модель належить до сімейства випадкових корисних моделей, яке представляє собою найбільш багату парадигму для моделювання вибору транспорту і вибору між дискретними альтернативами [36].

Відповідно до рівняння (2.16) систематична корисність виду транспорту m (тобто автомобільного, комбінованого автомобільно-залізничного транспорту і SSS) була виражена як лінійна комбінація ідентифікованих атрибутів таким чином:

$$\begin{aligned}
 V_{road}^{od} &= \beta_1^{road} \cdot C_{road}^{od} + \beta_2^{road} \cdot TT_{road}^{od} + \beta_{10} \cdot ROAD, \\
 V_{rail}^{od} &= \beta_3^{rail} \cdot C_{rail}^{od} + \beta_4^{rail} \cdot TT_{rail}^{od} + \beta_5 \cdot Freq_{rail}^{od} + \beta_{11} \cdot ROAD, \\
 V_{SSS}^{od} &= \beta_6^{SSS} \cdot C_{sea}^{od} + \beta_7^{SSS} \cdot TT_{sea}^{od} + \beta_8^{SSS} \cdot Freq_{sea}^{od},
 \end{aligned}
 \tag{2.17}$$

де TT^{od} – час у дорозі O-D парі, год;

C^{od} – вартість проїзду на O-D парі, €;

$Freq^{od}$ – це частота обслуговування на OD парі, поїздок/тиждень;

$Road$ і $Rail$ – фіктивні альтернативи, специфічні атрибути для автомобільних і комбінованих автомобільно-залізничних перевезень відповідно, включаючи час обробки в терміналах відправлення і призначення як для комбінованих автомобільних і залізничних перевезень, так і для альтернативних варіантів SSS, а також час у дорозі на під'їзд і виїзд автомобільного транспорту [32].

На наступному етапі були проаналізовані різні альтернативні моделі і обрана найкраща за статистичними показниками (табл. 2.9). Всі параметри мають правильний знак, а здатність моделей відтворювати виявлені значення демонструється високим значенням $R^2 = 0,98$.

Таблиця 2.9 – Модель вибору виду транспорту: оцінка параметрів [32]

Атрибут / Альтернативний вид	SSS	Автомобільно-Залізничний	Автомобільний
Час, год	-0,0403	-0,0408	-0,0386
Вартість, €	-0,6572	-0,7646	-0,5241
Частота,	0,03	0,0182	-
ASA	-	-0,7418	1,1046
R^2	0,98		
VoT, €/год.	61,34	53,41	73,71

VoT – співвідношення між коефіцієнтом витрат часу і грошових витрат – вартість однієї години роботи транспорту.

Далі проводилася перевірка обґрунтованості і значущості оцінених коефіцієнтів за рахунок визначення прямої і перехресної еластичності за такими формулами [32]:

$$E_{km}^{p[m]} = \frac{\Delta p[m]}{p[m]} / \frac{\Delta X_{km}}{X_{km}}, \quad (2.18)$$

$$E_{kh}^{p[m]} = \frac{\Delta p[m]}{p[m]} / \frac{\Delta X_{kh}}{X_{kh}}, \quad (2.19)$$

де $\frac{\Delta p[m]}{p[m]}$ – процентне змінювання ймовірності вибору режиму обслуговування

m , поділене на процентне змінювання ($\frac{\Delta X_{km}}{X_{km}}$ в рівнянні (2.18) або $\frac{\Delta X_{kh}}{X_{kh}}$ в рівнянні

(2.19) атрибута k щодо того ж режиму обслуговування m (пряма еластичність) або іншого режиму обслуговування h (перехресна еластичність). Як пряма, так і перехресна еластичності є корисними показниками чутливості моделі до варіацій атрибутів.

Взаємозв'язок коефіцієнтів з табл. 2.9 і зазначені вище пряма і перехресна еластичності (табл. 2.10) порівнювалися з отриманими раніше результатами [37].

Таблиця 2.10 – Результати перевірки моделі вибору виду транспорту: пряма і перехресна еластичності [32]

Зміна вартості у відсотках	SSS	Залізничний	Автомобільний
SSS: $\Delta C_{sea} / C_{sea} = +10\%$	-0,61	0,29	0,31
Автомобільно-залізничний: $\Delta C_{rail} / C_{rail} = +10\%$	0,02	-0,68	0,03
Автомобільний: $\Delta C_{road} / C_{road} = +10\%$	0,65	0,7	-0,39

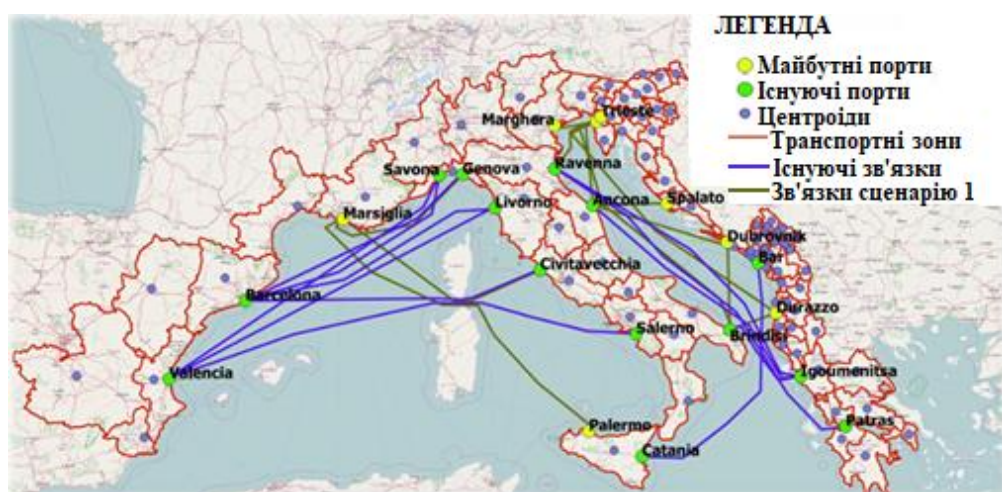
Оцінка майбутнього сценарію

Гіпотези для розвитку SSS були визначені з метою перевірки ефектів, викликаних політикою вантажного транспорту, здатної реалізовувати керівні принципи Європейської спільноти, які сприяють збільшенню використання виду транспортування SSS до 2030 року [32].

З цією метою в майбутніх сценаріях, починаючи з попиту на транспорт і пропозиції послуг інфраструктурою на майбутній часовий горизонт (2030 рік), реалізуються дії, направлені на збільшення обсягу послуг і заохочення стимулів. Що стосується надання послуг, ефекти таких дій були змодельовані шляхом представлення їх у два сценарії (рис. 2.25) [32]:

1. Впровадження нових послуг відповідно до проєктів ЄС (Сценарій 1);
2. Впровадження нових послуг SSS на міжміських сполученнях, що характеризуються наявністю потенційно привабливого попиту з боку автомобільного транспорту. Розширення послуг за рахунок збільшення на 10 % частот існуючих послуг SSS (сценарій 2).

(a)



(б)

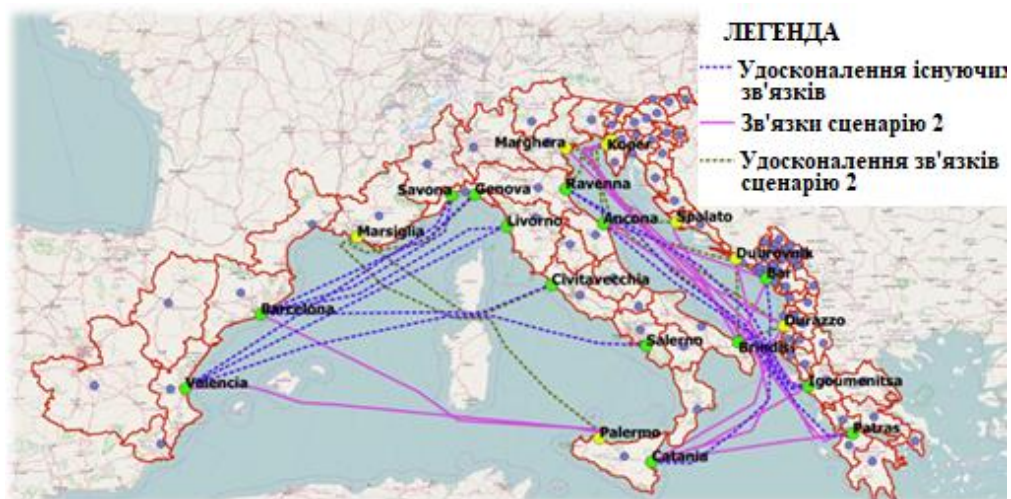


Рисунок 2.25 – Визначення сценаріїв: сценарій 1 (а), сценарій 2 (б) [32]

Сценарій 1

Цей сценарій був реалізований для моделювання наслідків впровадження нових послуг SSS, як показано на рис. 2.25. Відповідно до європейських директив щодо необхідності до 2030 року перенести близько 30% попиту на вантажні перевезення на відстань більш 300 км з дороги на SSS, в першу чергу була відзначена оцінка потенційного попиту на транспорт з боку SSS. Таким чином, були визначені основні потенційні морські маршрути і розрахована мінімальна щотижнева частота і коефіцієнт навантаження. Такий аналіз проводився з метою перевірки можливості роботи без зовнішніх стимулів. В кінці цього процесу було введено 12 нових маршрутів з 201 новою послугою, здатними привернути попит з боку автомобільного та комбінованого автомобільно-залізничного транспорту [32].

Також було визначено еталонний сценарій (базовий сценарій). Це сценарій, до якого система буде прагнути, якщо не будуть реалізовані ніякі подальші дії. З аналізу результатів можна зробити висновок, що ефект від впровадження нових послуг призводить до збільшення частки морських послуг SSS на 12 %, що досягається за рахунок декілька більш високого рівня використання автомобільного транспорту, при майже незмінному рівні використання комбінованих перевезень (2 %) [32].

Вигоди від впровадження сценарію 1 були оцінені шляхом порівняння обсягів перевезення вантажів видами, що розглядалися (табл. 2.11) і з точки зору загального річного транспортної роботи (табл. 2.12). Зокрема, можна побачити, що приріст на 12 % в річному вираженні в тонах (з 12 % в базовому сценарії до 24 % в сценарії 1, табл. 2.11) відповідає вигоді +11 %, якщо аналізувати змінення транспортної роботи (тобто, з 13 % до 24 %, табл. 2.12). Цей приріст досягається

за рахунок зменшення частки автомобільного транспорту (-11 %, тобто з 84 % в базовому сценарії до 73 % в сценарії 1, табл. 2.12), тоді як для комбінованого автомобільно-залізничного виду істотні відмінності відсутні [32].

Таблиця 2.11 – Результати оцінки сценарію 1:
частка видів транспортування в обсязі перевезення [32]

Вид транспортування	Поточний	Сценарій 1	Δ
SSS	12 %	24 %	106 %
Комбінований автомобільно-залізничний	2 %	2 %	-21 %
Автомобільний	86 %	74 %	-14 %

Таблиця 2.12 – Результати оцінки сценарію 1:
частка видів транспортування в транспортній роботі [32]

Вид транспортування	Поточний	Сценарій 1	Δ
SSS	13 %	24 %	68 %
Комбінований автомобільно-залізничний	3 %	3 %	-23 %
Автомобільний	84 %	73 %	-21 %

Сценарій 2

Цей сценарій був розроблений для моделювання ефектів збільшення частоти використання існуючих послуг SSS і включення маршрутів, не передбачених в загальноєвропейських програмних документах, з метою скорочення часу в дорозі.

З аналізу результатів, отриманих щодо щорічно перевезених вантажів (табл. 2.13), можна зробити висновок, що ефект збільшення частоти існуючих послуг призводить приблизно до 20 % збільшення частки використання SSS (з 12 % до 31 %), що досягається за рахунок автомобільного (-19 %, з 86% до 67%) і комбінованого автомобільно-залізничного транспорту (-1 %). Як показано в табл. 2.13 і 2.14, цей сценарій тягне за собою особливо велике збільшення попиту на SSS (167 % в т, 123 % в ткм/рік). Однак у порівнянні з попереднім сценарієм він має недолік, що виявляється у появі конкуренції між комбінованими автомобільно-залізничними та автомобільними перевезеннями, оскільки попит задовольняється обома видами транспортування [32].

Таблиця 2.13 – Результати оцінки сценарію 2:
частка видів транспортування в обсязі перевезення [32]

Вид транспортування	Поточний	Сценарій 2	Δ
SSS	12 %	31 %	167 %
Комбінований автомобільно-залізничний	2 %	2 %	-30 %
Автомобільний	86 %	67 %	-22 %

Таблиця 2.14 – Результати оцінки сценарію 2:
частка видів транспортування в транспортній роботі [32]

Вид транспортування	Поточний	Сценарій 2	Δ
SSS	13 %	32 %	123 %
Комбінований автомобільно-залізничний	3 %	2 %	-29 %
Автомобільний	84 %	66 %	-24 %

Аналіз результатів

Незважаючи на те, що транспортний сектор має фундаментальне значення для соціально-економічного розвитку, його «нестійкий» розвиток вимагає для суспільства значних витрат з точки зору економічних наслідків (затори на дорогах, перешкоди для пересування, нещасні випадки, вартість послуг тощо), соціальних наслідків для здоров'я людини і вплив на навколишнє середовище (викиди парникових газів, забруднення повітря, шум, втрата середовища мешкання тощо). Таким чином, два вищевказаних сценарії можна оцінити з точки зору таких витрат: викиди забруднюючих речовин і парникових газів, безпеку, шум і затори [32].

Існують рішення щодо зниження викидів, і в деяких випадках вони не вимагають особливо високих витрат. В результаті, принаймні в транспортному секторі, основні перешкоди для застосування короткострокових рішень не стільки технологічні або економічні, скільки, радше, обумовлені поведінковими аспектами і інерцією самої системи [32].

Однак з точки зору транспорту отримані результати дозволили досягти мети Європейського співтовариства з передачі 30 % автомобільних і комбінованих автомобільно-залізничних вантажів на SSS. Дійсно, при реалізації проектного сценарію 2 (введення нових послуг міжміських сполучень, не передбачених європейськими документами і посилення існуючих послуг), спостерігається, що завдяки додаванню нових морських послуг може бути досягнутий ефект на користь покращення навколишнього середовища. Кораблі можуть стати найбільш екологічно чистим, ефективним і дешевим видом транспорту [32].

Питання для самоконтролю

1. Перелічіть заходи, які повинні формувати сталі умови розвитку міст.
2. Які види доставки можна характеризувати як «логістика останньої милі»?
3. Які існують тенденції розвитку електронної комерції?
4. У чому різниця формування матриць потоків товарів та потоків вантажного транспорту у містах?
5. Перелічіть переваги та недоліки онлайн постачань?
6. В чому перевага онлайн постачань в порівнянні зі звичайним обслуговуванням кінцевих споживачів через фізичні магазини?
7. Дайте визначення поняттю «функція корисності».
8. Що таке MNL модель, умови її формування?
9. Як визначається ймовірність виконання вибору з використанням функції корисності?
10. Назвіть можливі складові функції корисності вибору виду транспорту.
11. Що в себе включають узагальнені витрати?
12. Як визначаються узагальнені витрати при врахуванні потоку транспортних засобів?
13. Дайте визначення 3PL логістики.
14. Наведіть основні принципи роботи логістичних систем.
15. Що являє собою обробка замовлення в логістичній системі?
16. Які причини проводити контроль запасів на підприємствах логістичної системи?
17. Наведіть основні питання ефективного управління запасами.
18. Які стратегії розподілу вантажів Ви знаєте?
19. Дайте визначення стратегії кросдокінгу.
20. Наведіть приклади різних каналів розподілу вантажів.
21. Як змінюються час доставки вантажу залежно від відстані для різних способів транспортування?
22. У чому полягає принцип LTL перевезення?
23. У чому полягає принцип TL перевезення?
24. Наведіть основні методи підтримки прийняття рішень в логістичних системах.
25. Які умови впливають на транспортні витрати і тарифи?
26. Які види транспортних витрат Ви знаєте?
27. За якою залежністю визначається оптимальний розмір партії поставки?
28. Дайте визначення SSS.
29. З яких етапів складається методологія оцінки сценарію?

30. Які атрибути можуть враховуватись під час аналізу сценаріїв розвитку вантажних транспортних систем?

Список рекомендованої літератури:

1. Dablanc L. Goods Transport in Large European Cities: Difficult to Organize, Difficult to Modernize. *Transportation Research Part A*. 2007. Vol. 41, P. 280–285.
2. Diagnostic du transport de marchandises dans une agglomération / LET. Paris : DRAST/Ministère des Transports, 2000.
3. Ripert C. 'Approvisionner, desservir, transiter' : technical report. Municipalité de Phnom Penh Mairie de Paris, APUR, Phnom Penh Centre. Paris : APUR Publishing, 2006.
4. Dablanc L. Freight Transport, A Key for the New Urban Economy : Report for the World Bank as part of the initiative Freight Transport for Development: a Policy Toolkit. 2009. 52 p.
5. Transport for London : London Construction Consolidation Centre Interim Report. May, 2007. URL: www.tfl.gov.uk/microsites/freight/documents/publications/LCCC-interim-report-may-07.pdf.
6. Méthodologie pour un bilan environnemental physique du transport de marchandises en ville / LET et al. Paris : ADEME/Ministère des Transports, 2006.
7. Quak H., De Koster R. Exploring Retailers' Sensitivity to Local Sustainability Policies. *Journal of Operations Management*. 2007. Vol. 25 (6), P. 1103–1122.
8. A framework for considering policies to encourage sustainable urban freight traffic and goods / service flows / Allen J., Anderson S., Browne M., Jones P, Transport Studies Group. London : University of Westminster, 2000.
9. Ambrosini C., Routhier Jean-Louis Objectives, Methods and Results of Surveys Carried out in the Field of Urban Freight Transport: An International Comparison. *Transport Reviews*. 2004. Vol. 24 (1). P. 57–77.
10. Taniguchi E., van der Heijden R. An evaluation methodology for city logistics. *Transport Reviews*. 2000. Vol. 20 (1), P. 65–90.
11. Dablanc L., Rakotonarivo D. The impacts of logistic sprawl: How does the location of parcel transport terminals affect the energy efficiency of goods movements in Paris and what can we do about it? In *6th International Conference on City Logistics. Procedia Social and Behavioral Science*. 2010. Vol. 2. P. 6087–6096.
12. Dablanc L. Goods transport in large European cities: difficult to organize, difficult to modernize. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2007. Vol. 41, Issue 3. P. 280–285.

13. Patricia L. Mokhtarian A conceptual analysis of the transportation impacts of B2C e-commerce. *Transportation*. 2004. Vol. 31. P. 257–284.
14. Visser J., Nemoto T., Browne M. Home Delivery and the Impacts on Urban Freight Transport: A Review. *Procedia Social and Behavioral Sciences*. 2014. Vol. 125, P. 15–27.
15. Comi A., Nuzzolo A. Exploring the relationships between e-shopping attitudes and urban freight transport. *Transportation Research Procedia*. 2016. Vol. 12, P. 399–412.
16. Domencich T.A., McFadden D. Urban travel demand: A behavioral analysis. North-Holland, Amsterdam, 1975
17. Williams H.C.W.L. On the formation of travel demand models and economic evaluation measures of user benefit. *Environment and Planning A: Economy and Space*. 1977. Vol. 9. P. 285–344.
18. Williams H.C.W.L., Ortúzar J. de D. Behavioural theories of dispersion and the mis-specification of travel demand models. *Transportation Research Part B: Methodological*. 1982. Vol. 16. P. 167–219.
19. Kresge D.T., Roberts P.O. Techniques of Transport Planning. Vol. 2: Systems Analysis and Simulation Models. Washington, D.C. : The Brookings Institution, 1971.
20. Ghiani G., Laporte G., Musmanno R. Introduction to Logistics Systems Planning and Control. J.Wiley & Sons, 2004.
21. Rodrigue J.P. The Geography of Transportation Systems. Routledge – Taylor & Francis Group, 2013.
22. Daganzo C.F. Logistics systems analysis. Springer Science & Business Media, 2005.
23. Comi A. Logistic costs and modal choice. Aggregated modal choice : Presentation to SmaLog project. 2018.
24. White Paper. Tabella di Marcia Verso Uno Spazio Unico Europeo Dei Trasporti- Per Una Politica Dei Trasporti Competitiva E Sostenibile. Commissione Europea: Bruxelles, Belgium, 2011.
25. Eurostat. Glossary: Short Sea Shipping (SSS). URL: [https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php?title=Glossary:Short_sea_shipping_\(SSS\)&oldid=424626](https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php?title=Glossary:Short_sea_shipping_(SSS)&oldid=424626).
26. Russo F., Musolino G., Assumma V. An integrated procedure to estimate demand flows of maritime container transport at international scale. *Int. J. Shipp. Transp. Logist.* 2014. Vol. 6. P. 1121–1132.
27. Russo F., Musolino G., Assumma V. Competition between Ro–Ro and Lo–Lo Services in Short Sea Shipping Market: The Case of Mediterranean Countries. *Res. Transp. Bus. Manag.* 2016. Vol. 19. P. 27–33.

28. López-Navarro M.Á. Environmental Factors and Intermodal Freight Transportation: Analysis of the Decision Bases in the Case of Spanish Motorways of the Sea. *Sustainability*. 2014. Vol. 6. P. 1544–1566.
29. Bergantino A., Bolis S., Canali C. A Methodological Framework to Analyse the Market Opportunities of Short Sea Shipping: The Adaptive Stated Preference approach. *Towards Better Performing European Transport Networks*. In Jourquin B., Rietveld P., Westin, K. (ed.). UK, London : Routledge, 2006. P. 285–304.
30. Understanding Mode Choice Decisions: A Study of Australian Freight Shippers / Brooks M.R., Puckett S.M., Hensher D.A. Sammons A. *Marit. Econ. Logist.* 2012. Vol. 14. P. 274–299.
31. López A.M., Sobrino P.C., Santos L.C. Definition of Optimal Fleets for Sea Motorways: The Case of France and Spain on the Atlantic Coast. *Int. J. Shipp. Transp. Logist.* 2015. Vol. 7. P. 89–113.
32. Comi A., Polimeni A. Assessing the potential of short sea shipping and the benefits in terms of external costs: Application to the Mediterranean Basin. *Sustainability*. 2020. Vol. 12, № 13. P. 5383.
33. Nuzzolo A., Coppola P., Comi A. Freight transport modeling: Review and future challenges. *Int. J. Transp. Econ.* 2013. Vol. 40. P. 151–181.
34. The Role of Modelling in Freight Governance: The Case of LOGICA (Agency For Freight Transport and Logistics Promotion of the Campania Region) / Cascetta E. et al. In *Proceedings of the European Transport Conference*, Strasbourg, France, 1 Oct. 2005.
35. Testing for Nonlinearity in the Choice of a Freight Transport Service / Rotaris L., Danielis R., Sarman I., Marcucci E. *European Transport/Trasporti Europei*. 2012. Vol. 50. P. 1–22.
36. Ben-Akiva M., Lerman S.R. Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand. USA, MA, Cambridge : The MIT Press, 1985.
37. Crisalli U., Comi A., Rosati L. A methodology for the assessment of rail-road freight transport policies. *Procedia Soc. Behav. Sci.* 2013. Vol. 87, P. 292–305.

РОЗДІЛ 4. ОРГАНІЗАЦІЯ І УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ

У даному розділі наведені відомості щодо особливостей транспортної політики та технології організації та управління дорожнім рухом в сучасних містах.

На першому етапі (тема 4.1) були розглянуті загальні методичні положення управління дорожнім рухом в містах України, практичні напрямки поліпшення умов руху на транспортних розв'язках вулиць і доріг, типові інженерно-планувальні та організаційні заходи для підвищення ефективності та безпеки міського пішохідного руху. Серед актуальних вітчизняних та світових тенденцій удосконалення міських транспортних систем (тема 4.2) особливу увагу було надано шляхам забезпечення належної організації велосипедного руху, поліпшення зручності та безпеки пересування маломобільних груп населення, а також питанням ефективною транспортної політики при організації автомобільних стоянок (паркінгів) та екологічного менеджменту і моніторингу з урахуванням досвіду країн ЄС. При розгляді питання щодо можливостей моделювання процесів міського руху (тема 4.3) були проаналізовані основні математичні моделі руху транспортних потоків, а також принципи, алгоритми та технологічні особливості процесу імітаційного моделювання з використанням програмного комплексу PTV Vision® VISSIM (на прикладі розробки транспортної моделі м.Житомира).

CHAPTER 4. ROAD TRAFFIC MANAGEMENT

This chapter provides information about the features of transport policy and traffic management technology in modern cities.

At the first stage (Theme 4.1), the methodological foundations of traffic management in Ukrainian cities, practical suggestions for improving traffic conditions at traffic intersections of streets and roads, typical engineering planning and organizational measures to improve the efficiency and safety of urban pedestrian traffic were considered. Among the current domestic and global trends in the improvement of urban transport systems (Theme 4.2), special attention was paid to ways of ensuring the proper organization of cycling, improving the convenience and safety of movement of people with disabilities. Also the issues of effective transport policy in the organization of parking lots, environmental management and monitoring taking into account the experience of the EU countries were studied. Considering the possibility of modeling urban traffic processes (Theme 4.3), the main mathematical models of traffic flows were analyzed, as well as the principles, algorithms and technological features of the simulation process using the PTV Vision® VISSIM software package (case study - the developing a transport model for Zhitomir).

Тема 1. Управління дорожнім рухом Theme 1. Traffic management

В.П. Поліщук, О.П. Дзюба, С.В. Янішевський
Polishchuk Volodymyr, Dziuba Oleksandr, Yanishevskiy Serhii

1.1. Загальні методичні положення управління дорожнім рухом

1.1. Methodological foundations of traffic management

Основні поняття та визначення [1]

Дорожній рух (road traffic) – складна динамічна система, що існує на вулично-дорожніх мережах (ВДМ), та являє собою сукупність рухомих та нерухомих пішоходів, а також механічних та немеханічних транспортних засобів (ТЗ), керованих людьми (*Конвенція ООН «Про дорожній рух», 1949*).

Основною специфічною **проблемою** дорожнього руху (ДР) є взаємодія технічного та людського фактору, причому кожен учасник руху (насамперед – водій) постійно діє в умовах поєднання трьох негативних **факторів**:

- значного обсягу зовнішньої інформації, яка потребує безперервного аналізу та синтезу;
- хронічного дефіциту часу;
- високого рівня відповідальності за рішення, що приймаються.

Тому забезпечення ефективного та безпечного руху може бути досягнуто при своєчасному та повному інформуванні учасників руху про зміни його умов за допомогою технічних засобів та пристроїв організації і управління ДР, що є в певному сенсі ланкою, яка зв'язує організатора руху та його учасників.

Напрямок діяльності **traffic engineering** виник в США в 1930-і роки; він передбачає вирішення питань планування, проектування і управління транспортними потоками (ТП) на ВДМ, а також систем громадського транспорту (ГТ) в агломераціях.

Основними показниками **ефективності ДР** є швидкість та безпека, тому під **організацією дорожнього руху (ОДР)** розуміють комплекс діяльності, спрямованої на досягнення оптимальної швидкості та безпеки ДР (БДР).

В свою чергу, під **управлінням** в загальному випадку розуміють здійснення сукупності дій, спрямованих на підтримку і поліпшення функціонування об'єкта, яким управляють, відповідно з метою і програмою управління. процес управління звичайно складається з двох тісно пов'язаних етапів:

1. розробка (планування) програми, що визначає необхідне поведження (стан) об'єкту управління;

2. реалізація програми (т.з. оперативне управління, регулювання, керівництво, тощо).

Таким чином, **управління ДР (УДР)** найчастіше розуміють як головний метод ОДР, що вирішує більш вузькі завдання (насамперед – на рівні інженерних служб) за рахунок цілеспрямованого впливу на транспортні та пішохідні потоки з метою поліпшення їх стану. Безпосередня **сутність (мета) такого управління** полягає в тому, щоб зобов'язувати водіїв і пішоходів, забороняти чи рекомендувати їм ті чи інші дії для забезпечення належного рівня швидкості і безпеки.

В кінці 1960-х років в США як самостійна інженерна дисципліна виникло **Transportation System Management** (Управління транспортними системами), яке розповсюджується не лише на ДР, а і на роботу всіх видів транспорту. В рамках цього напрямку діяльності застосовуються не лише інженерні засоби і методи, але і елементи організаційно-економічного регулювання (наприклад, введення плати за проїзд та в'їзд в певні райони міста). Цей напрямок передбачає розгляд ТП як таких і перевізних функцій, які вони виконують, а також їх взаємодію з довкіллям та містом в цілому.

Система ДУ-ТП [1]

Системою називається об'єктивна єдність закономірно пов'язаних між собою предметів, явищ, знань про природу, суспільство і т.д., або щось ціле, що складається з частин, упорядкованих відповідно до визначених законів або принципів. Будь-яка система характеризується кількістю складових її частин і зв'язками між ними; чим більше складових і чим складніше зв'язки, тим складніша система.

Складність управління **автомобільним транспортом (АТ)** як системою збільшується його децентралізацією. Проте, незалежно від приналежності ТЗ, останні, виїжджаючи на дорогу, утворюють єдиний ТП, усередині якого діють загальні для всіх автомобілів закономірності.

Продукцією АТ, як і усіх інших видів транспорту, є перевезення, а основним виробничим процесом – рух ТП, який може бути реалізований тільки за наявності шляхів сполучення, від кількості та розміщення яких багато в чому залежать показники основного виробничого процесу – руху. Таким чином, із загальної системи АТ може і має бути виділена окрема **система «Дорожні умови – Транспортні потоки» (ДУ – ТП)**, у якій і здійснюється основний виробничий (перевізний) процес – рух ТП.

Об'єкт управління системи ДУ-ТП – ВДМ з дорожніми спорудами, пристроями і засобами регулювання, у якій пересуваються (циркулюють) ТЗ.

Керований об'єкт – система ДУ-ТП – складається з двох підсистем: ДУ та ТП, з яких перша є керованим об'єктом, а друга (стосовно першої) – головним чином, керуючою (рис. 4.1.1).

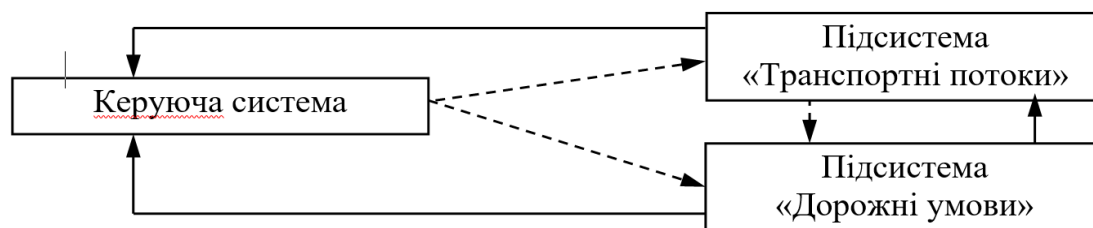


Рисунок 4.1.1 – Зв'язки в системі ДУ-ТП (Джерело: [1, с.43])

Сутність приведеної схеми полягає в тому, що від підсистеми ДУ до підсистеми ТП надходять команди, що реалізуються водіями ТЗ у залежності від інтенсивності та складу руху (характеристик ТП), а також, деякою мірою, в залежності від індивідуальних особливостей водіїв. Остання обставина визначає **імовірнісний характер** залежностей між окремими елементами підсистеми ДУ і підсистеми ТП, і цим визначає необхідність великих статистичних спостережень для встановлення цих залежностей.

Основними **елементами підсистеми ДУ** є геометричні елементи вулиці (дороги), тип покриття проїзної частини (ПЧ) та його стан, обстановка (облаштування) ВДМ.

Основними **елементами підсистеми ТП** є інтенсивність та склад потоку, швидкість та щільність руху.

Основою оптимального управління є перетворення інформації в керуючих системах, тобто перетворення даних, якими обмінюються між собою керований об'єкт і система управління. Інформація може бути сповіщеною, тобто такою, що передається від сприймаючих пристроїв, і керуючою, що передається від керуючих органів до керованих об'єктів.

При оптимізації управління системою ДУ – ТП можна прагнути до досягнення різних **цілей (критеріїв оптимальності)**; найбільш важливим є досягнення мінімуму дорожньо-транспортних витрат за умови забезпечення заданого обсягу перевезень (руху), заданої швидкості та заданого рівня БР. Математична модель цієї задачі (**модель оптимального управління системою ДУ – ТП**) може бути представлена в наступному вигляді:

$$E = \min; A_v = N; V \geq \bar{V}; K_\sigma \geq \bar{K}_\sigma, \quad (4.1.1)$$

де E – сумарні приведені дорожньо-транспортні витрати; A_v – пропускна здатність ділянки при швидкості руху ТП \bar{V} ; N – інтенсивність руху; V – середня швидкість руху ТП; \bar{V} – заданий рівень швидкості руху ТП; K_σ – коефіцієнт безпеки руху (БР); \bar{K}_σ – задане мінімальне значення коефіцієнта БР.

Сутність оптимального УДР полягає у відповідності ДУ вимогам ТП, **основою** такого управління є перетворення в керуючій підсистемі інформації про систему ДУ-ТП.

Основний метод **оптимізації** зазначеної системи полягає в оцінці та прогнозі її стану.

Науковою основою оптимального УДР є дослідження основних законів руху потоків транспорту у різних, але типових ДУ на підставі спостережень за інтенсивністю, швидкістю та щільністю ТП і їх математичного моделювання.

Транспортний потік [2]

Транспортний потік розуміють як сукупність ТЗ, що рухаються один за одним або у сусідніх потоках у одному напрямку. В реальних умовах ТП зазвичай складається з різних типів ТЗ, які мають специфічні особливості. Ці особливості відрізняють його від подібних явищ (потоків, відомих в області техніки, зв'язку, тощо), тому потрібен особливий підхід до його дослідження.

У **теорії ТП** розрізняють рух окремого ТЗ та групи ТЗ (колони) однією смугою або в одному напрямку руху.

Під час руху ТЗ ситуація на досліджуваній ділянці постійно змінюється (міняється число ТЗ та швидкість їх руху; наявність рухомих ТЗ на певній смузі впливає на лише на їх водіїв, але й змінює поведінку водіїв ТЗ у сусідніх смугах). Таким чином, рух ТП являє собою пересування значного числа біомеханічних транспортних одиниць у просторі і часі одночасно, і цей рух значною мірою детермінований не тільки за здібностями, вимогами та продуктивністю користувачів і ТЗ, їх кількості й типу, але і за параметрами ДУ, навколишнього середовища і погодних умов.

Основними характеристиками кількості та якості ТП є інтенсивність руху (N); склад потоку; швидкість руху (V); щільність потоку (H); дистанція між ТЗ; інтервал слідування та часовий інтервал (Δt). Між основними характеристиками ТП існує визначене відношення. Його можна виразити за

допомогою рівняння безперервності, якщо вважати, що в місці x і в часі t на ділянці дійсно наступне:

$$N_{(x,t)} = V_{(x,t)} \times H_{(x,t)} \quad \text{або} \quad N = V \times H. \quad (4.1.2)$$

При аналізі залежності між інтенсивністю ТП (N , на графіку позначена як M) та щільністю (H) можна записати наступні обмежувальні умови (рисунок 4.1.2):

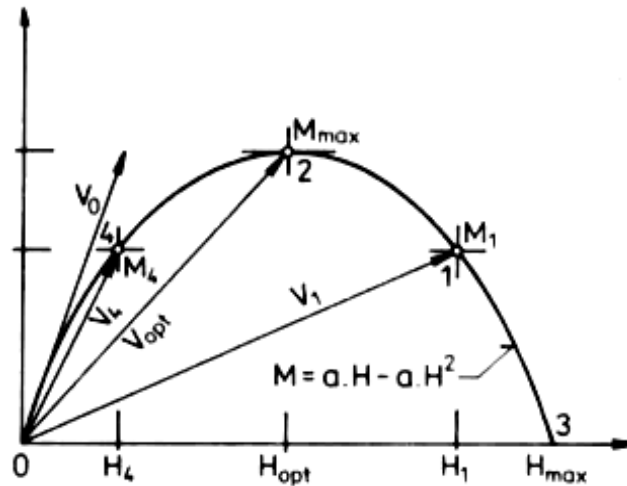


Рисунок 4.1.2 – Залежність «інтенсивність – щільність» (M/H діаграма)
(Джерело: [2, с.60])

- точка 0: $M = 0, \quad V = 0 \rightarrow V = V_0$ (швидкість вільного руху);
- точка 1: $M = M_1, \quad H = H_1 \rightarrow V = V_1$ (зв'язаний ТП);
- точка 2: $M = M_{\max}, \quad H = H_{\text{opt}} \rightarrow V = V_{\text{opt}}$ (оптимальна швидкість ТП);
- точка 3: $M = 0, \quad H = H_{\max} \rightarrow V = 0$ (ТП стоїть);
- точка 4: $M = M_1 = M_4, \quad H = H_4 \rightarrow V = V_4$ (щільний ТП).

З наведених умов походить, що:

- якщо в досліджуваному перерізі ПЧ немає ТЗ ($M=0$), то щільність і швидкість ТП визначити не можна;
- якщо щільність ТЗ така, що їх рух неможливий (затор), то можна визначити максимальну щільність ТП (H_{\max}), але його інтенсивність і швидкість – нульові (точка 3);
- в точці 2 спостерігається максимальна інтенсивність руху (M_{\max}), і їй відповідають оптимальна щільність і швидкість ТП ($H_{\text{opt}}, V_{\text{opt}}$).
- тангенс кута нахилу радіус-вектора в точках 1,4 кривої ($tg\alpha$) приблизно дорівнює поточним швидкостям ТП (V_1, V_4) при відповідних значеннях інтенсивності (M_1, M_4) та щільності (H_1, H_4) в цих точках, причому при однаковій інтенсивності ($M_1 = M_4$) швидкість при меншій щільності є більшою ($V_1 > V_4$);

- тангенс кута нахилу радіус-вектора до кривої на початку осей координат (точка 0, тобто при інтенсивності і щільності, що наближаються до нуля ($M \rightarrow 0$, $H \rightarrow 0$)) визначає т.з. швидкість вільного руху ТП V_0 .

Залежність «інтенсивність – щільність» є основним співвідношенням, що неявно входить у кожену модель ТП, а тому має назву **основної діаграми ТП**. Її можна використовувати, наприклад, для аналізу умов руху (визначення «вузьких» місць) по довжині ділянки ВДМ (рисунок 4.1.3). У такому місці збільшується щільність і зменшується інтенсивність та швидкість руху, що призводить до зменшення можливостей надходження на цю ділянку більшої кількості ТЗ.

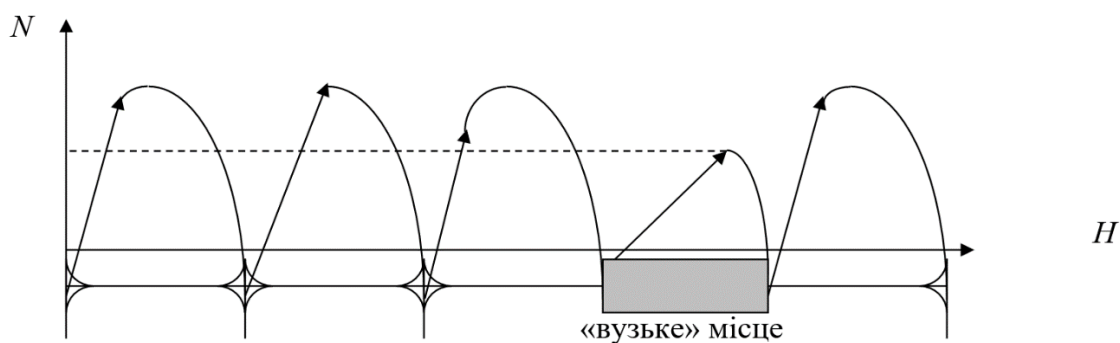


Рисунок 4.1.3 – Побудова основних діаграм для ділянок ВДМ (Джерело: [1, с.219])

Часові інтервали та їх розподіл

Одним з найважливіших параметрів для цілей оперативного управління та оцінки потенційної БДР є величина **часового інтервалу** – проміжку часу між пересіченнями двома ТЗ, що рухаються попутно один за одним, певного перерізу ПЧ, с:

$$\Delta t = \frac{3600}{N}. \quad (4.1.3)$$

Доцільність використання даних про часові інтервали обумовлена тим, що їх аналіз дає змогу оцінювати **стан ТП в реальному масштабі часу** (оскільки, як відомо, саме розподіл таких інтервалів є вихідною характеристикою системи ДУ–ТП [1]), а самі величини інтервалів досить легко визначаються автоматичним вимірюванням (фіксацією). Встановлення закономірностей змін часових інтервалів є важливим для вирішення цілого ряду **практичних задач УДР**:

- визначення пропускної здатності перетинів на одному та різних рівнях;
- визначення пропускної здатності зон переплетення ТП;

- проектування автомобільних стоянок;
- оцінки втрат часу автомобілями на окремих ділянках;
- проектування пішохідних переходів;
- розрахунок параметрів світлофорного регулювання (СФР).

Показник часового інтервалу між ТЗ знаходиться в прямій залежності від динамічного габариту (складу потоку) та обернено пропорційний інтенсивності руху ТП з урахуванням його швидкості. Так, наприклад, за результатами проведеного в НТУ дослідження характеристик ТП на ділянці входу в м. Київ автомобільної дороги М-01 Київ – Чернігів – Нові Яриловичі [3] було встановлено, що при наявності в складі ТП більш ніж 80 % легкових автомобілів частка фактичних інтервалів тривалістю менш ніж 2,0 с зі зростанням інтенсивності суттєво збільшується – при зафіксованій інтенсивності $N=500;900;3500 \text{ авт/год}$ вона становить відповідно 5;23;62 % (рисунок 1.4).

Суттєве практичне значення для оцінки пропускної здатності елементів ВДМ має визначення **мінімального часового інтервалу** (Δt_{min}), теоретична величина якого може бути визначена на основі **гідродинамічної моделі ТП**, с:

$$\Delta t_{min} = \frac{(d_{min} + L_a) e^{V/V_0}}{V}, \quad (4.1.4)$$

де $d_{min}=1,0\text{м}$ – мінімальна дистанція між ТЗ в потоці; L_a – середня довжина ТЗ, м; $e=2,7183$ – основа натурального логарифму; V – середня швидкість ТП, м/с; V_0 – швидкість, що відповідає пропускній здатності, м/с.

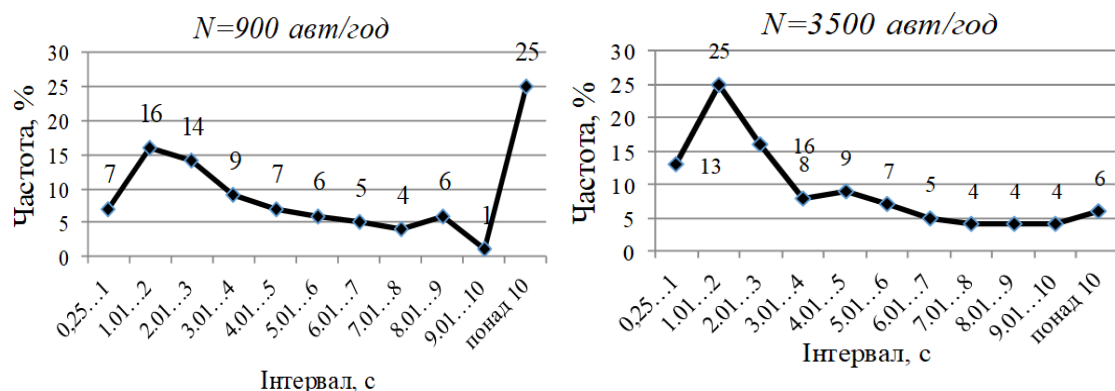


Рисунок 4.1.4 – Розподіл часових інтервалів залежно від інтенсивності ТП (Джерело: [3, с.81])

Транспортні дослідження

Транспортні дослідження – це сукупність видів діяльності, за допомогою яких збирається інформація про стан та особливості функціонування

транспортної системи (ТС), що має стати **вихідними даними** для планування, проектування і модернізації такої системи. Загальна **класифікація таких досліджень** наведена на рисунку 4.1.5.

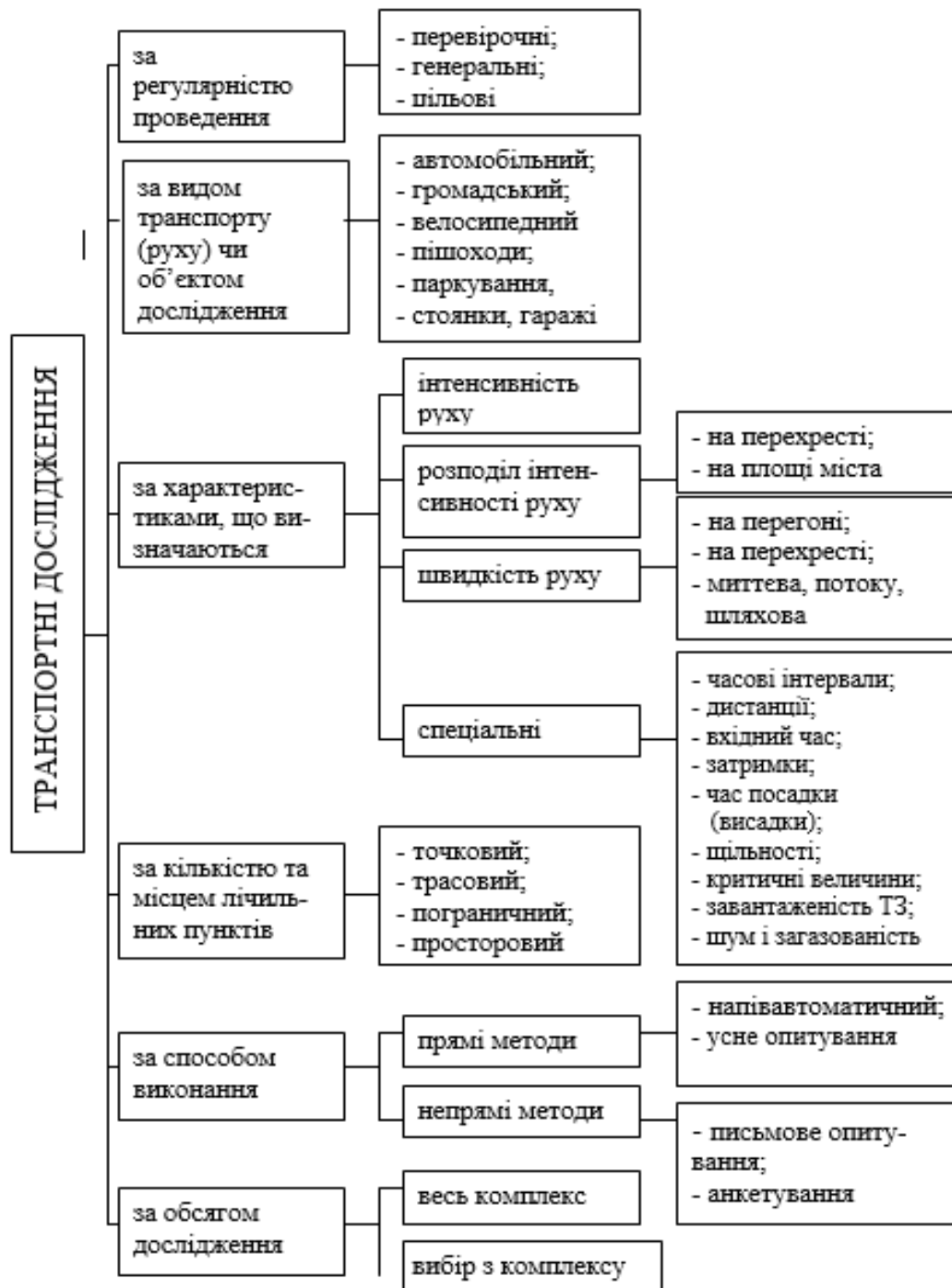


Рисунок 4.1.5 – Класифікація транспортних досліджень (Джерело: [1, с.75])

В загальному випадку необхідна для вирішення задач **планування (модернізації) ТС та УДР** в межах певної території, зокрема, стосується:

- характеристик цієї території (зони, району, міста, агломерації);
- значення структурних величин (число жителів, робочих місць, рівень автомобілізації, рухомість населення);

- характеристик окремих видів транспорту, що є на цій території;
- пропускнуої здатності споруд для окремих видів транспорту;
- інтенсивності та спрямованості ТП, ГТ, пішоходів і велосипедистів;
- поділу перевізної роботи за видами транспорту, що має місце;
- передумов розвитку досліджуваної території;
- інших специфічних характеристик.

Моніторинг дорожнього руху в містах

Одним з найбільш поширених видів транспортних досліджень в містах є **моніторинг ДР**, який в багатьох сучасних містах світу здійснюється у автоматичному режимі в рамках функціонування ІТС. Зауважимо, що результати цього моніторингу в таких системах можуть застосовуватися не лише для цілей УДР, а і для вирішення усього спектру транспортних проблем міста на базі високих технологій, методів моделювання транспортних процесів, організації інформаційних потоків у реальному режимі часу. Так, наприклад, **моніторинг характеристик ТП і показників якості функціонування ВДМ** забезпечує **реалізацію концепції маршрутної навігації** (визначення місця розташування ТЗ з заданою точністю, динамічний вибір маршруту руху та інформаційне забезпечення в реальному режимі часу при його проходженні) [4].

Час проведення і тривалість моніторингу (дослідження) ДР в містах залежить від його мети.

Дослідження інтенсивності ДР середнього робочого дня має проводитися у вівторок, середу і четвер, протягом наступних місяців: березня, квітня, травня, червня, вересня і жовтня (16 годин, 5^{00} – 21^{00}); аналогічним чином може проводитись дослідження маршрутів пересування автомобільного транспорту.

Пікові інтенсивності ТП можна визначити шляхом 2-х або 4-годинного дослідження вранці і у другій половині дня (6^{00} – 10^{00} , 14^{00} – 18^{00}).

Рух наприкінці тижня зазвичай досліджують у п'ятницю (14^{00} – 18^{00}), у суботу (6^{00} – 10^{00} , 17^{00} – 21^{00}), неділю (17^{00} – 21^{00}).

Для проектування світлофорної сигналізації проводиться дослідження руху на перехрестях мінімум протягом одного тижня по 16 годин з розподілом на 5-хвилинні інтервали.

Відомості про основні методи моніторингу об'ємів (інтенсивності) ТП, а також деяких інших характеристик ДР наведені в таблицях 4.1.1, 4.1.2.

Для моніторингу ДР в містах Європи застосовуються різноманітні системи та пристрої, які забезпечують не лише автоматичний збір даних про окремі характеристики ТП, а і їх статистичну обробку. Для прикладу проаналізуємо два таких пристрої.

Citilog CT-TS (виробник Sitilog, Франція) – пакет пристроїв для ефективного моніторингу та управління ДР у містах та на дорожній інфраструктурі, який забезпечує збір, обробку та передачу статистичних даних в режимі реального часу (рисунок 4.1.6) [5]. Параметри, що визначаються: кількість ТЗ, тип ТЗ, швидкість ТЗ, зайнятість та рівні обслуговування окремих смуг.

Технологія CT-TS Analytics інтегрує специфічні функції для досягнення високої точності за мінливих умов навколишнього середовища (день-ніч, ясно-дощ), що дає можливість максимізувати можливості моніторингу ДР. Отримані дані про ДР легко інтегруються в сторонні системи (SCADA, ATMS) або надаються на хмарні / відкриті платформи передачі даних.

Таблиця 4.1.1 – Методи моніторингу об’ємів (інтенсивності) ТП [1]

Характеристики, що досліджуються	Метод дослідження	Інтенсивність на перегоні	Склад ТП	Інтенсивність на перехресті	Міжрайонні зв’язки	Об’єм руху				Ціль руху
						цільового та вихідного	попереднього	внутрішнього	загальний обсяг	
Інтенсивність на перегоні	ручний	●	●							
	напівавтоматичний	●	●							
	автоматичний	●	●							
	вимірювальні ТЗ	○	○							
Інтенсивність на перехресті	ручний	●	●	●						
	датчики	○	○	●						
	відеозапис	●	●	●						
Розподіл інтенсивності на території міста	метод наклейок	○	○	○		●	●			
	запис д.н.з. ТЗ	○	○	○	●	●	●	●	●	
	опитування на ВДМ	○	○		○	●	●	○		●
	письмове опитування на ВДМ	○	○		○	●	●	○		●
	письмове опитування (дім, робота)				●		●	●		●
	письмове опитування власників ТЗ				●		●	●		●
	опитування на ВДМ та запис д.н.з. ТЗ	○	○		●	●	●	●	●	●
	опитування на ВДМ та на дому	○	○		●	●	●	●	●	●

● – основна характеристика для методу;

○ – характеристика, що визначається відповідним методом

Таблиця 4.1.2 – Методи моніторингу окремих характеристик ДР [1]

Характеристики, що досліджуються	Методи					
	ручний	напів-автоматичний	автоматичний	відео	Аерофото-зйомка	«плаваючий» ТЗ
Швидкість ТП	●	●	●	○	х	●
Часові інтервали (дистанції)	●	●	●			
Моменти прибуття ТЗ	●		●	○		
Насичення потоків	●		●			
Затримки на перехрестях	●	●	●	●		○
Щільність ТП	●			●	●	
Критичні величини стану ТП		●	●	●	х	
Шум і загазованість		●	●			
Динамічні характеристики ТЗ						●
Спеціальні характеристики ТЗ						●
Час посадки-висадки у МГТ	●					
Завантаженість засобів МГТ	●					
Рух пішоходів	●	●		●		

- – основна характеристика методу;
- – величина, що визначається відповідним методом;
- х – похідна величина

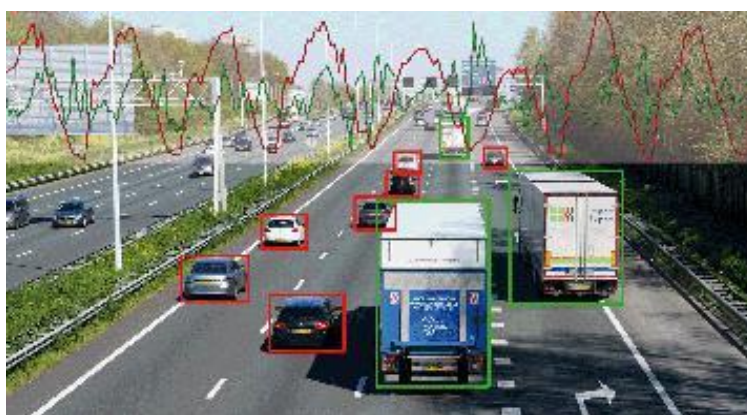


Рисунок 4.1.6 – Система моніторингу ДР Citilog CT-TS
(Джерело: <https://www.citilog.com>)

Автономний наземний мобільний лічильник (детектор) транспорту TMS-SA (виробник – Icoms Detections, Бельгія) призначений для автоматичного визначення (підрахунку) інтенсивності ТЗ (з диференціацією за видами), а також вимірювання миттєвих швидкостей цих засобів [6].

Живлення – вбудована батарея (акумулятор); термін автономної роботи – 3 тижні; вбудована пам'ять для зберігання даних вимірювань – до 1 мільйона автомобілів; діапазон вимірювання швидкості – від 10 до 255 км/год; точність вимірювання швидкості +/- 3 %; точність вимірювання інтенсивності +/- 3 %; точність класифікації ТЗ (4 класи по довжині) +/- 10 %.

В детекторі TMS-SA використовується ліцензійне програмне забезпечення, він має вбудовану пам'ять для зберігання результатів вимірювань, а також забезпечує бездротовий зв'язок з можливістю передачі даних на індивідуальний пристрій (Bluetooth, GPRS). Можливі форми надання відомостей щодо характеристик руху ТП за результатами їх автоматичної фіксації та обробки наведені на рисунку 4.1.7.

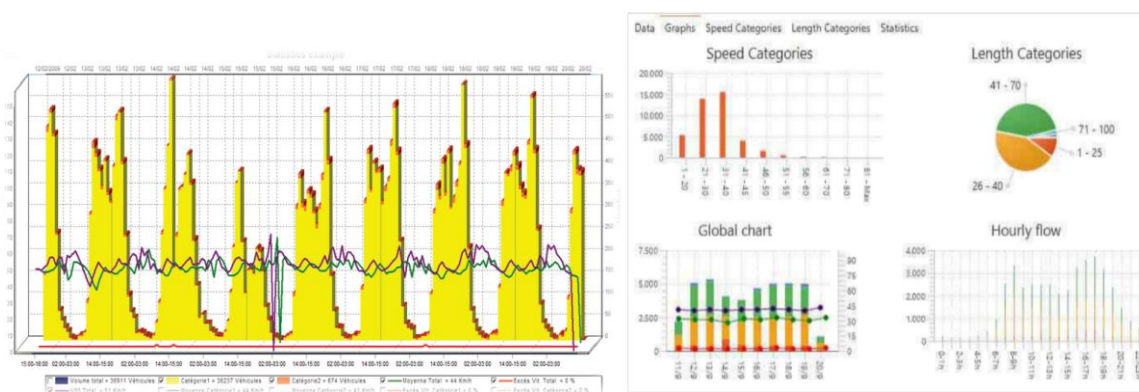


Рисунок 4.1.7 – Форми надання відомостей щодо характеристик руху ТП (Джерело: www.icomsdetections.com)

1.2. Управління рухом на розв'язках вулиць і доріг 1.2. Traffic control using junctions of streets and roads

Розв'язки ВДМ на одному рівні (перехрестя)

Транспортними розв'язками називають місця перехрещень, примикань та розгалужень вулиць та доріг, тобто ділянки, на яких можливий перехід ТЗ з одного напрямку на інший.

Транспортні розв'язки на одному рівні частіше називають **перехрестями** – це такі місця, у яких вулиці (дороги) пересікаються або зустрічаються, і хоча б дві з них взаємно з'єднуються у горизонтальній площині. В широкому сенсі такими розв'язками є всі **пересічення, примикання і транспортні площі**, і саме вони визначають ступінь БР і пропускну здатність ВДМ.

Відомості щодо класифікації міських розв'язок на одному рівні (перехресть) за організацією та інтенсивністю учасників руху наведені в таблиці 4.1.3.

Таблиця 4.1.3 – Класифікація міських розв’язок на одному рівні (перехресть) за організацією та інтенсивністю учасників руху [7]

Перехрестя	Рух		Категорії вулиць, що перехрещуються
	транспорту	пішоходів та велосипедистів	
Нерегульовані	нерегульований, можливо каналізований	нерегульований	міські вулиці місцевого значення
З рухом по кільцю	саморегульований, як правило, каналізований; можливо регульований	нерегульований, можливо регульований	міські вулиці місцевого значення; магістральні вулиці районного значення; магістральні вулиці загальноміського значення (в малих і середніх містах)
Регульовані	регульований, можливо каналізований	регульований, можливо безперервний	магістральні вулиці загальноміського та районного значення

Кільцеві розв’язки

Кільцеві розв’язки (пересічення) за рівнем БР займають місце між нерегульованими перехрестями на одному рівні і розв’язками на різних рівнях. Особливо ефективним кільцевий рух є на пересіченнях трьох і більше вулиць. Основні **переваги** таких розв’язок:

- чітка організація руху навколо кільця;
- забезпечення безперервності руху транспорту;
- збільшення пропускної здатності порівняно з іншими пересіченнями на одному рівні.

Форма центрального острівця залежить головним чином від конфігурації розв’язки і кількості вулиць, що підходять до кільця. Найбільш поширеними є круглі, квадратні, ромбічні та еліптичні острівці. При симетричному пересіченні рівнозначних вулиць доцільно застосувати острівці круглої або квадратної форми, при зміщених пересіченнях - квадратні острівці. Якщо ж одна з вулиць має явно переважне значення, доцільно застосовувати острівець еліптичної або ромбічної форми, розташований довгою віссю вздовж неї.

Відомості щодо варіантів планувальних рішень та організації руху на кільцевих розв’язках (пересіченнях) наведені в таблиці 4.1.4.

Таблиця 4.1.4 – Функціональні характеристики кільцевого руху [1]

Організація руху	Характеристики	
	умов руху	планувального рішення
Нерегульований кільцевий рух (безперервний)	Відносно однорідні ТП; значний лівоповоротний рух; незначний пішохідний рух.	4–6 вхідних вулиць; діаметр центрального острівця понад 50–70 м; 3 смуги загальною шириною 11–12 м
Регульований кільцевий рух (періодичний)	Великі і різномірні ТП; лівоповоротний рух 20–25 % ; значний рух пішоходів.	Діаметр центрального острівця понад 25–30 м; загальна ширина ПЧ більш ніж 4 м
Комбінований перехресно-кільцевий рух	Різнорідні потоки; наявність електротранспорту; один значний (переважаючий) напрямок	Діаметр центрального острівця понад 40–50 м
Змішаний перехресно-кільцевий рух	Нерівномірний розподіл потоків; значний лівоповоротний рух; значний рух пішоходів	Кількість вхідних вулиць більше 5; неправильний (несиметричний) центральний острівець

Спрощення схем руху на перехрестях

В загальному випадку метою спрощення схеми руху на перехресті є зменшення потенційної небезпеки руху та підвищення пропускної здатності. Найпростішим способом для цього є **заборона певних видів (напрямків) руху** (насамперед – лівоповоротних маневрів). На перехрестях з багатосмуговими підходами найчастіше застосовують **каналізування руху**, спрямоване на відокремлення ТП різних напрямків шляхом виділення їм окремих смуг ПЧ (каналів). Цим способом досягається зменшення використання ТЗ площі розв’язки з ущільненням зони конфлікту між ТП та забезпеченням безперервного руху.

Основними **практичними заходами** для облаштування каналізованих перехресть та відповідного спрощення схем руху є:

1. облаштування додаткових смуг руху;
2. облаштування окремої смуги для правого (лівого) повороту;
3. облаштування окремої смуги для транзитного (прямого) руху;
4. повне каналізування руху на перехресті.

Додаткову смугу для правих або лівих поворотів слід улаштувати завширшки не менше ширини смуги руху магістралі і, за можливості, відокремлювати правий поворот напрямним острівцем, через який влаштувати

пішохідний перехід (рисунок 4.1.8). Довжина такої смуги залежить від інтенсивності відповідного потоку, але має бути не менше ніж 30 м. Відгони влаштовуються на вулицях і дорогах загальноміського значення – не менше ніж 30 м, районного значення – не менше ніж 20 м [7].

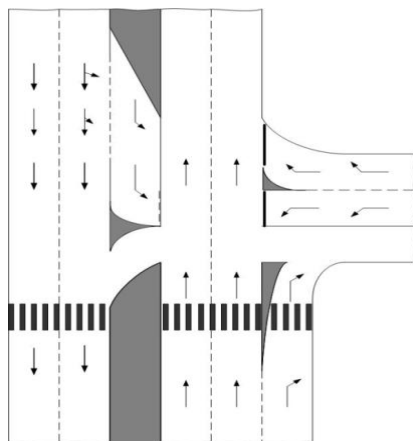
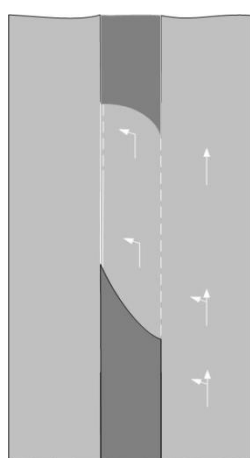


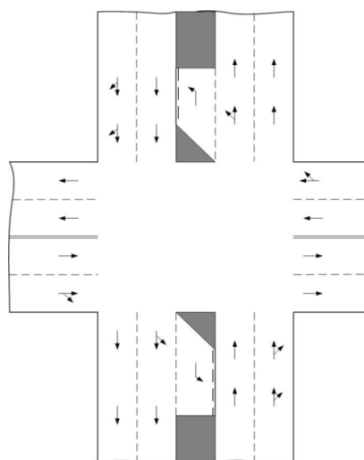
Рисунок 4.1.8 – Додаткові смуги на перехрестях для поворотних ТП (Джерело: ДБН В.2.3-5:2018)

Крім того, згідно з вимогами [7]:

- при інтенсивності лівоповоротного руху 100–300 авт/год на вулицях з розділювальною смугою шириною не менше ніж 3,5 м необхідно робити **розширення ПЧ** для накопичення ТЗ, що повертають ліворуч (рисунок 4.1.9 а).
- при перехрещенні магістральних вулиць, інтенсивність руху на яких відрізняється менш ніж в 2 рази, на магістральній вулиці з меншою інтенсивністю руху необхідно каналізувати, за можливості, потоки лівоповоротного руху магістральної вулиці з більшою інтенсивністю руху (рисунок 4.1.9 б).



а)



б)

Рисунок 4.1.9 – Схеми каналізування лівоповоротних ТП на магістральних вулицях (Джерело: ДБН В.2.3-5:2018)

Якщо інтенсивність руху на лівоповоротних напрямках становить не менше ніж 40 %, на перехресті може бути застосовано схему **кільцевого руху**.

Якщо сумарна інтенсивність однорядних ТП, що перетинаються, досягає 700–800 авт/год, кількість часових інтервалів, протягом яких можливий безпечний роз'їзд ТЗ, стає настільки малим, що на такому перехресті необхідно **вводити СФР** (з урахуванням умов (критеріїв) [8]). Введення СФР також призводить до суттєвого спрощення схеми руху на перехресті, оскільки більшість взаємно конфліктних потоків розділяються в часі.

Спрощення схем руху на декількох **послідовно розташованих перехрестях** також можна досягти шляхом впровадження **одностороннього руху**, оскільки це теж істотно обмежує число конфліктних точок.

Оскільки ТЗ, водії яких очікують можливості повернути ліворуч, перебувають в межах перехрестя та обмежують (затримують) рух інших ТЗ, доцільним може бути заборона такого маневру. Однак, у цьому випадку, необхідно надати водіям іншу можливість досягнення своєї мети. Варіанти організації руху при застосуванні **заборони поворотів ліворуч** на окремому перехресті показані на рисунку 4.1.10.

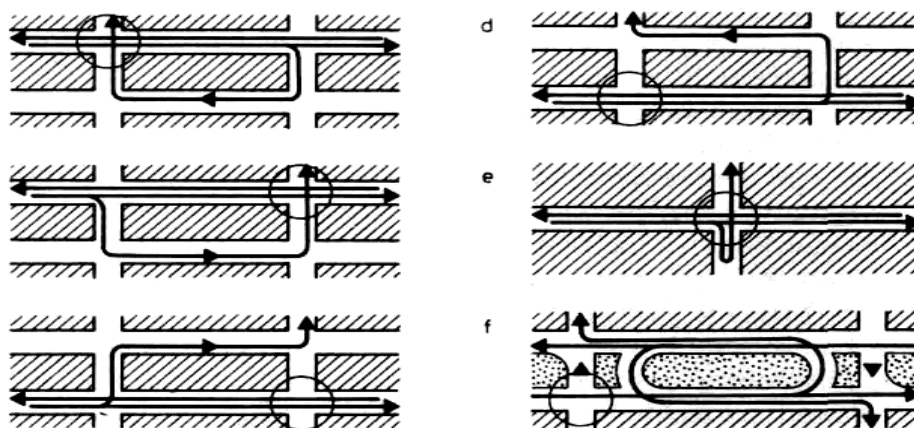


Рисунок 4.1.10 – Варіанти організації руху при забороні поворотів ліворуч
(Джерело: [1, с. 335])

Оцінка якості руху на нерегульованих перехрестях міст Німеччини [9]

Для оцінки якості руху на перехрестях міст Німеччини застосовується показник **середнього часу очікування** (t_w, c), причому визначають його не лише для ТЗ, але і для немоторизованих учасників ДР (велосипедистів та пішоходів). В свою чергу, з урахуванням встановлених значень цього часу умови руху на перехресті оцінюють тим чи іншим рівнем **якості руху транспорту** (Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs - QSV), який позначається індексами (літерами) від А до F.

В таблицях 4.1.5, 4.1.6 наведені показники такої оцінки якості руху для нерегульованих та регульованих перехресть.

Таблиця 4.1.5 – Оцінка якості руху на нерегульованих перехрестях [9]

Рівень якості руху транспорту (QSV)	Середній час очікування t_w , с			
	Нерегульоване перехрестя з дорожніми знаками пріоритету		Нерегульоване перехрестя без знаків пріоритету	
	Автомобільний рух по ПЧ	Рух велосипедів по велодоріжках та пішоходів	перехрещення	прилягання
A	≤ 10	≤ 5	≤ 10	≤ 10
B	≤ 20	≤ 10		
C	≤ 30	≤ 15	≤ 15	≤ 15
D	≤ 45	≤ 25	≤ 20	
E	> 45	≤ 35	≤ 25	≤ 20
F	-	> 35	> 25	> 20

Рівень А: Величина часу очікування для більшості ТЗ (учасників ДР) є дуже низькою і вони можуть перетинати вузол (перехрестя) практично безперешкодно.

Рівень В: Можливий вплив на очікування ТЗ (учасників ДР) є незначним. Підсумковий час очікування низький. **Такий рівень якості ДР є бажаним.**

Рівень С: ТЗ (учасники ДР) на другорядних підходах повинні звертати увагу на значну кількість ТЗ (учасників ДР), які мають перевагу. Час очікування стає помітним. Спостерігається зростання скупчень (черг), проте вони не є значними ні з точки зору своєї просторової міри (довжини), ні з точки зору тривалості. Виникають порушення правил проїзду .

Рівень D: Більшість ТЗ (учасників ДР) на другорядних підходах повинні зупинятись та втрачати час. Для окремих ТЗ (учасників ДР) час очікування може бути високим. У другорядному потоці деякий час спостерігаються помітні скупчення, причому вони формуються знову і знову. **ДР все ще стабільний.**

Рівень Е: Виникають скупчення (черги), які при існуючому навантаженні не зникають. Час очікування високий, проте в той же час дуже змінює своє значення. Незначне збільшення надходження ТЗ (учасників ДР) може призвести до обвалу руху (тобто неухильно зростають затори). **Пропускна здатність досягнута.**

Рівень F: Кількість ТЗ (учасників ДР), які входять на перехрестя за одиницю часу в одному потоці, перевищує пропускну здатність для цього потоку (підходу). Складаються довгі, постійно зростаючі скупчення (черги) з особливо тривалими періодами очікування. Така ситуація закінчиться лише після значного

зменшення надходження ТЗ (учасників ДР) з суміжної ділянки. **Перехрестя (вузол) перевантажене.**

Таблиця 4.1.6 – Оцінка якості руху на регульованих перехрестях [9]

Рівень якості руху транспорту (QSV)	Автомобільний рух (ТЗ)	Рух МГТ по виділених смугах ПЧ	Велосипедисти та пішоходи
	Середній час очікування t_w , с		Максимальний час очікування t_{wmax} , с
A	≤ 20	≤ 5	≤ 30
B	≤ 35	≤ 15	≤ 40
C	≤ 50	≤ 25	≤ 55
D	≤ 70	≤ 40	≤ 70
E	> 70	≤ 60	≤ 85
F	-	> 60	> 85

Рівень А: Час очікування дуже незначний.

Рівень В: Тривалість очікування **незначна**. Усі ТЗ, що прибувають до перехрестя за час ввімкнення заборонного сигналу, за час наступного дозвільного сигналу можуть здійснити проїзд зони перехрестя.

Рівень С: Тривалість очікування для ТЗ (учасників ДР) стає помітною. Майже усі ТЗ, що прибувають до перехрестя за час ввімкнення заборонного сигналу, за час наступного дозвільного сигналу можуть здійснити **проїзд зони перехрестя**. Завершення руху ТЗ через перехрестя після закінчення часу ввімкнення дозвільного сигналу відбувається лише інколи.

Рівень D: Тривалість очікування для ТЗ (учасників ДР) є значною. **На окремих смугах (підходах)** після закінчення часу ввімкнення дозвільного сигналу перед перехрестям **часто виникають черги (затори)**.

Рівень E: Тривалість очікування для ТЗ (учасників ДР) є значною. Після закінчення часу ввімкнення дозвільного сигналу **черги (затори) перед перехрестям виникають на більшості смуг (підходів)**.

Рівень F: Тривалість очікування для ТЗ (учасників ДР) є дуже значною. На окремих смугах (підходах) **інтенсивність руху ТЗ досягає пропускнув здатності**. Черги (затори) неспинно зростають. В процесі проїзду зони перехрестя автомобілі повинні декілька разів зупинитись та поновлювати свій рух.

Розв'язки вулиць і доріг на різних рівнях

Основною задачею **транспортних розв'язок міських вулиць і доріг на різних рівнях** є просторове розділення потоків, що пересікаються або

примикають, яке дозволяє без суттєвого зниження швидкості руху та без затримок пропустити через площу або пересічення ТП. Це досягається створенням двох або більше рівнів руху, які не пересікаються між собою (тобто ліквідуються конфліктні точки на прямих (особливо потужних) і лівоповоротних напрямках).

Такі розв'язки влаштовують, коли сумарна інтенсивність руху ТЗ, що проходять через них, перевищує пропускну здатність регульованого пересічення (як правило, вказана сумарна інтенсивність має складати не менш ніж 5-6 тисяч приведених одиниць на годину). В свою чергу, **на різних рівнях обов'язково має здійснюватися пересічення [7]:**

- магістральних вулиць і доріг з безперервним рухом
- всіх категорій міських вулиць і доріг з магістральними залізницями, з наземними лініями метрополітену і швидкісного трамваю;
- магістральних вулиць і доріг з залізничними гілками до промислових і складських об'єктів.

За числом рівнів пересічення розрізняють розв'язки на двох (найбільш розповсюджені), трьох- і чотирьох рівнях.

За повнотою розв'язки ТП, що повертають, розрізняють **повні пересічення** (кожен з потоків, що повертає, рухається по окремому з'їзду) та **неповні пересічення** (відсутній хоча б один із лівоповоротних з'їздів, або ж мають місце конфліктні точки на головному напрямку).

Основними **елементами** транспортних розв'язок на різних рівнях є:

- штучні споруди (шляхопроводи тунельного чи естакадного типу; напівтунелі і напівестакади (напіввиїмки і напівнасипи);
- підходи до вказаних штучних споруд;
- з'їзди і в'їзди;
- перехідно-швидкісні смуги.

Відомості щодо класифікації міських транспортних розв'язок на різних рівнях наведені в таблиці 4.1.7.

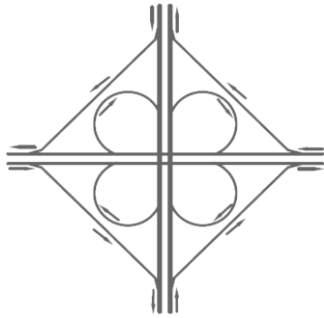
Таблиця 4.1.7 –. Класифікація транспортних розв'язок вулиць і доріг на різних рівнях [7]

Типи розв'язок	Клас	Рух ТП	Рекомендована розрахункова швидкість на лівоповоротних з'їздах, км/год			Пішохідний рух
			у разі їх частки в потоці			
			<0,15	0,15-0,30	>0,30	
З повною розв'язкою руху	I	Всі потоки безперервні та відокремлені	50	60	70	Безперервний, Повністю Відокремлений від усіх інших ТП
	II	Те саме	30	50	60	Те саме
	III	Усі прямі потоки безперервні та відокремлені. Поворотні потоки безперервні, але можуть мати ділянки суміщення	30	40	50	Безперервний, відокремлений на перехрещенні з прямими та основними ТП. Безперервний чи регульований на перехрещенні з іншими ТП
	IV	Всі прямі потоки безперервні, але можуть мати суміщені ділянки з поворотними потоками. Поворотні потоки регульовані чи саморегульовані	15	20	30	Те саме
З неповною розв'язкою руху	V	Один прямий потік безперервний та відокремлений. Всі інші потоки регульовані чи саморегульовані. Частина поворотних потоків можуть бути відсутніми	15	10	-	Безперервний, відокремлений на перехрещенні з прямими ТП. Безперервний, регульований чи нерегульований на перехрещенні з іншими ТП.
<p>Примітка: Відокремленими потоками є ті, що не мають у межах транспортної розв'язки ділянок перестроювання (перехід з однієї смуги на іншу) і ділянок суміщення (рух потоків на одній смузі з наступним розгалуженням)</p>						

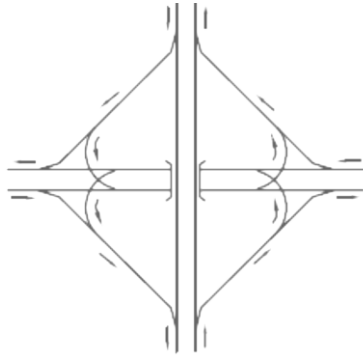
Нижче наведені найбільш поширені конструктивні рішення та схеми руху на транспортних розв'язках на різних рівнях [7].

Перехрещення

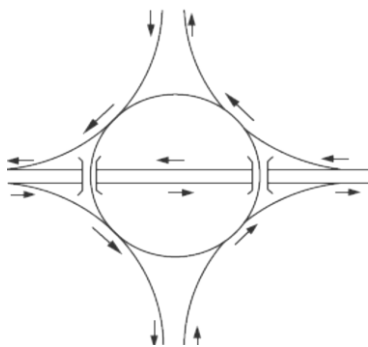
чотирилистник з
односторонніми з'їздами



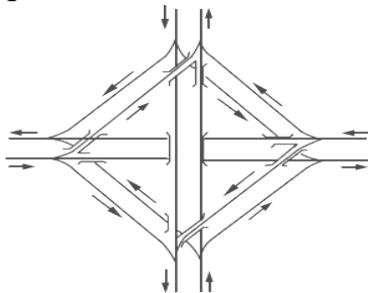
неповний чотирилистник



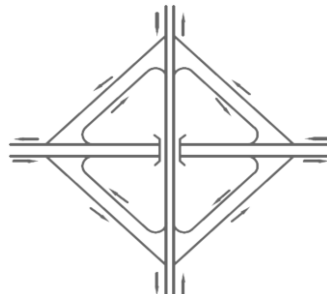
розподільче кільце з п'ятьма
шляхопроводами



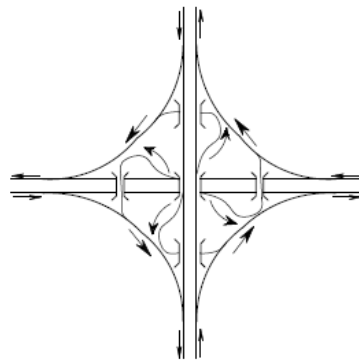
ромбоподібний тип



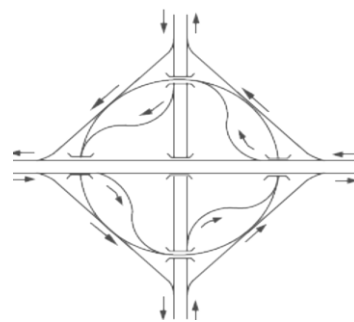
чотирилистник з
двосторонніми з'їздами



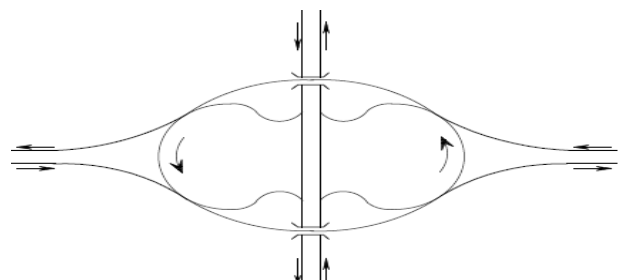
крючкоподібний тип



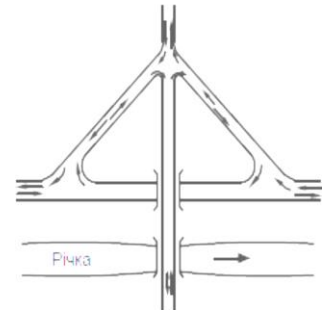
поліпшене розподільче
кільце



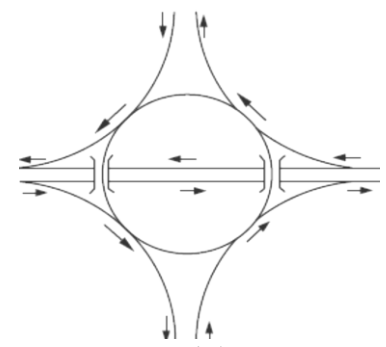
подвійна петля



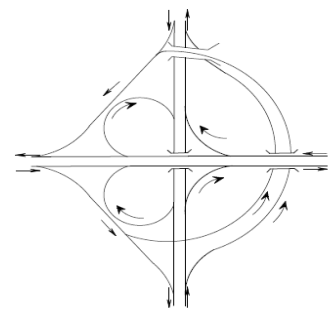
неповний
чотирилистник перед
мостом



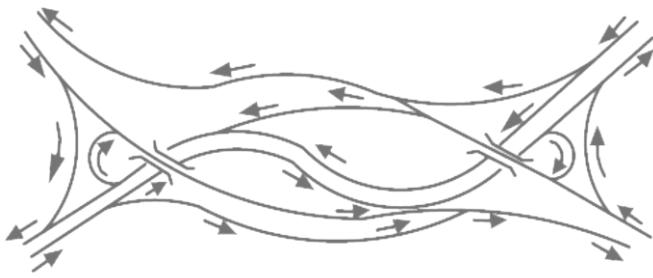
розподільче кільце з
двома шляхопроводами



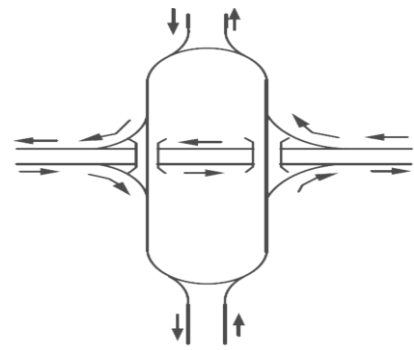
грушоподібний тип



лінійний тип перехрестя
з двома шляхопроводами

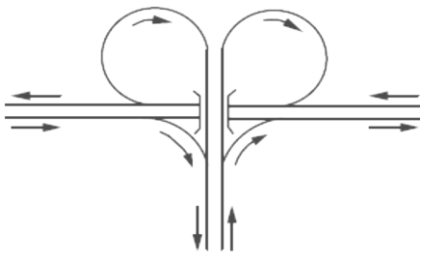


витягнуте розподільче кільце

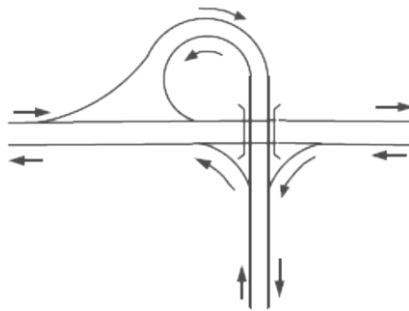


Примикання

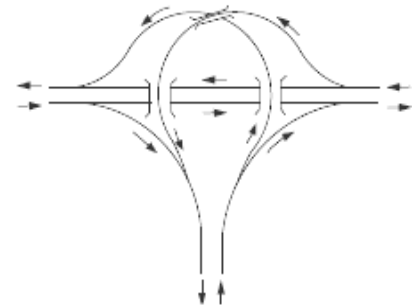
листоподібний тип



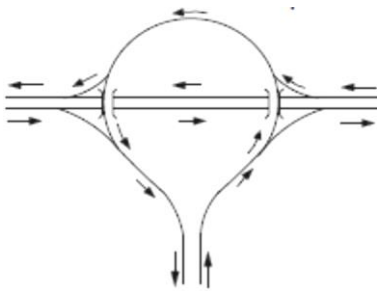
примикання типу «труба»



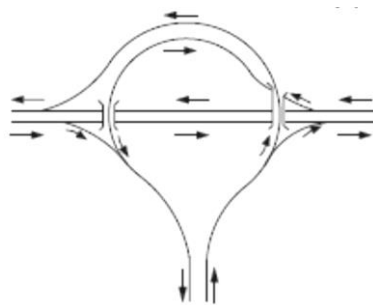
грибоподібний тип



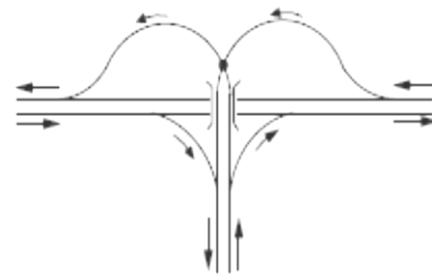
кільцевий тип



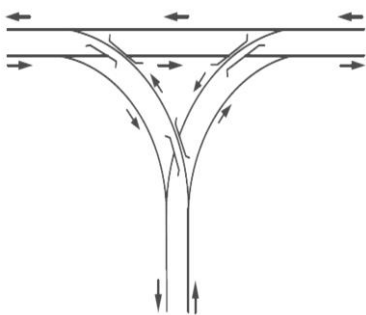
грушоподібний тип



половина неповного
«чотирилистника»

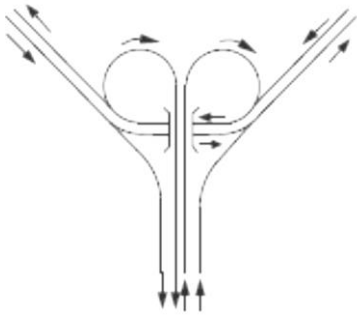


T-подібний тип.

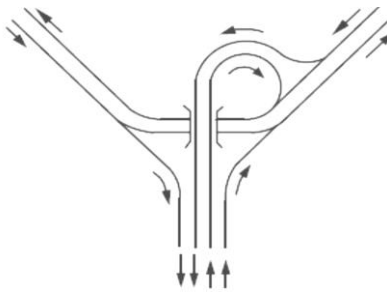


Розгалуження

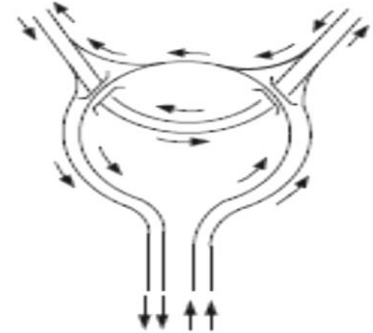
листоподібний тип



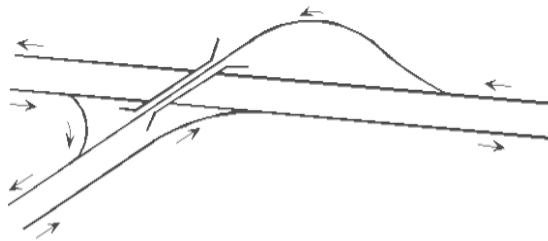
розгалуження типу «труба»



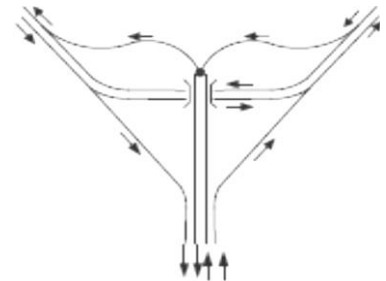
кільцевий тип



лінійний тип



половина неповного «чотирилистика»



1.3. Організація та управління пішохідним рухом 1.3. Organization and management of pedestrian traffic

Особливості пішохідного руху та його характеристики

Забезпечення зручності та БР пішоходів є одним з найбільш відповідальних напрямків УДР. Складність полягає в тому, що **дії пішоходів важче піддаються регламентації, ніж дії водіїв ТЗ**, а при розрахунках режимів регулювання дуже **складно достовірно врахувати психофізіологічні фактори поведінки пішоходів** з усіма відхиленнями, що притаманні окремим їх групам. Як відомо, поведінка пішоходів суттєво залежить від їх природних даних - пішоходи мають різні здібності до пересування та початкової (стартової) швидкості (приблизно в межах до 10 км/год), найменшу інерційність та максимальну мобільність у виборі напрямку свого пересування. З іншого боку, пішоходи в порівнянні з іншими учасниками ДР мають найменше обмежень з точки зору вимог Правил ДР.

Тому необхідною умовою **оптимального управління пішохідним рухом** є врахування **психофізіологічних особливостей** (наприклад, прагнення людей рухатись за найкоротшим шляхом, зберігаючи при цьому зусилля і час) і **фізичних можливостей** людей (зокрема, загальні особливості зору, а також

суттєве погіршення його ефективності в темну пору доби) **при розробці відповідних технічних рішень.**

Так, наприклад, класичне англійське **загальне обмеження швидкості руху автомобілів** для вулиць та місцевих проїздів складає 30 миль/год (54 км/год). Вибір саме такої величини був обґрунтований тим, що середня швидкість пішохода складає 3 милі/год, а більш ніж 10-кратне перевищення цього показника рухомим предметом значної маси може бути небезпечним для людської психіки (фахівці аргументують це міркування психофізичним законом Weber – Fechner) [10].

Раціональна організація руху пішоходів є одним з визначальних **факторів підвищення пропускної здатності ВДМ**, тому що без неї неможливо забезпечити **рух ТП з оптимальними швидкостями**

Вирішення проблеми пішохідного руху передбачає просторовий устрій та планувальне рішення шляхів пересування пішоходів, які повинні бути доповнені необхідними заходами щодо управління ним. Зауважимо, що через специфічні умови пішохідного руху необхідно, насамперед, виходити з **якісного планувального рішення, оскільки заходи з управління, що передбачають певні заборони, в містах застосовуються лише в обмеженому обсязі, а саме:**

- **заборона пішохідного руху міськими швидкісними дорогами;**
- **обов'язкове використання пішоходами для руху тротуарів або лівого узбіччя (там, де немає тротуару), у винятковому випадку – лівого краю проїзної частини (ПЧ);**
- **обов'язкове використання пішоходами для переходу через ПЧ переходів (регульованих, підземних або надземних) при їх наявності.** В інших місцях вони зобов'язані переходити ПЧ перпендикулярно, не мають затримуватися або зупинятися на ній без суттєвих причин.

Пішохідний рух підпорядковується певним закономірностям і **характеризуються:**

- розподілом в часі;
- залежністю між щільністю потоку і швидкістю пересування;
- способом організації та управління руху;
- транспортною дисципліною потоку.

При управлінні пішохідним рухом в містах необхідно перш за все створити **оптимальні умови для такого руху – забезпечити можливості вільного вибору пішоходом напрямку і швидкості свого пересування за умови його безпеки.** Оскільки надійність відповідних управлінських рішень визначається, насамперед, точністю вихідної інформації, спочатку необхідно отримати **достовірні дані про стан пішохідних потоків (ПП) на досліджуваній ділянці ВДМ.**

Для встановлення цих даних проводять **натурні обстеження**, застосовуючи прямі ручні та напівавтоматичні (підрахунок, опитування, запис), а також непрямі (відеозйомка, анкетування) методи. За результатами таких досліджень визначають такі **основні характеристики ПП** як інтенсивність, швидкість та щільність (рисунок 4.1.11), а також окремі **соціологічні дані** (наприклад, про вік, стать, освіту, професію, наявність власного ТЗ, стан здоров'я, тощо).

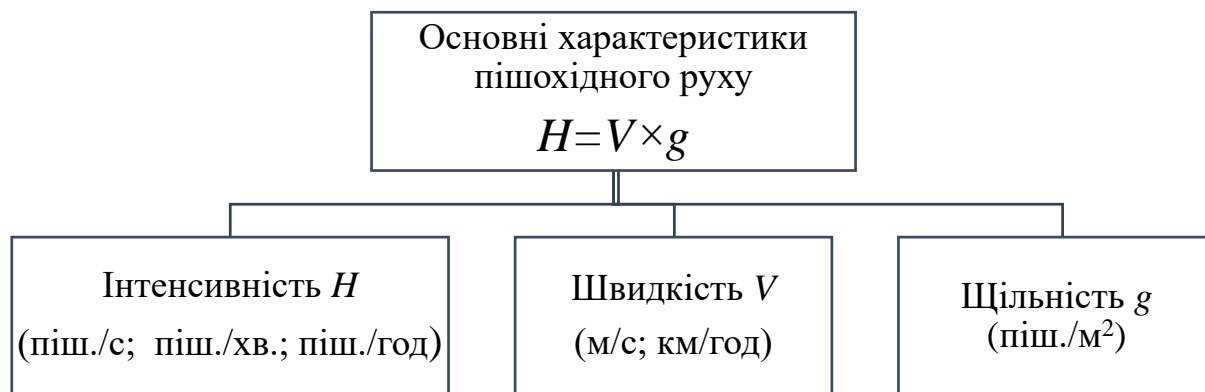


Рисунок 4.1.11 – Основні характеристики пішохідного руху

Для визначення інтенсивності пішохідного руху проводяться спостереження в період **найбільшої, середньої і найменшої пішохідної активності**. **Розрахункова інтенсивність** ПП для кожного періоду розраховується по такій формулі, піш./год:

$$H_{розр} = \frac{\sum_{i=1}^k 60 \times H_{ci}}{k \times t_{ci}} k_z \times k_o \times k_p, \quad (4.1.5)$$

де H_{ci} – інтенсивність руху за i -й проміжок часу, піш.; t_{ci} – тривалість i -го проміжку часу, хв. (не менше 15хв.); k – кількість проміжків протягом даного періоду спостереження; $k_z = 1,2 \div 1,5$; $k_o = 0,1 \div 1,8$; $k_p = 1,1 \div 1,2$ – коефіцієнти годинної, добової та річної нерівномірності пішохідного руху відповідно.

Щільність пішохідного руху (число пішоходів на 1 м² комунікаційних шляхів) визначається **ступенем свободи руху**: вільний рух - до 0,3 піш./м²; допустимо вільний рух - 0,31÷0,6 піш./м²; щільний рух - 0,61÷1,0 піш./м²; дуже щільний рух - 1,01÷1,5 піш./м²; затор (тіснява, юрба) - 1,51÷3,0 піш./м².

Швидкість ПП характеризується **швидкостями руху окремих пішоходів**, яка залежить від багатьох факторів, найвагомішими з яких є **інтенсивність руху і його щільність, склад та вік пішоходів** (також впливають величина зустрічного потоку, наявність і кількість пішоходів, що стоять на тротуарі, наявність і розташування перешкод (кіосків, телефонів-автоматів), тощо).

Максимальна щільність ПП, при якій ще можливий рух людей з постійною швидкістю, не перевищує **2 піш./м²**. **Розрахункові швидкості:** жінки з дітьми - 0,7 м/с; діти - 1,0 м/с; чоловіки - 1,5-1,7 м/с; молодь - 1,8 м/с.

Для практичного використання в сфері управління пішохідним рухом важливою є залежність величини середньої швидкості пішоходів від **умов (місця) пересування:** рух по тротуару – 1,25 м/с; по позавуличному переходу – 1,3 м/с; по наземному переходу – 1,4 м/с; по сходових переходах – 1,0÷1,1 м/с

Організація пішохідного руху в міському центрі

Результати дослідження, опубліковані Федеральним міністерством транспорту і цифрової інфраструктури Німеччини (Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)) [11], свідчать про те, що більша частина переміщень в країні припадає на поїздки автомобілями – вони складають 57 % усіх поїздок та три чверті загального об'єму в пасажиро-кілометрах (рисунок 4.1.12). Разом з тим, **пішохідний рух є другим за популярністю видом мобільності** – пішохідні пересування з часткою в 22 % вдвічі перевищують велосипедні поїздки (11 %) та такі, що виконуються на ГТ (10%).

При цьому довжина майже половини автомобільних поїздок не перевищує 5км, а кожна четверта становить менш ніж 2 км. Якщо припустити, що на подолання 1 км пішохід витрачає приблизно 15 хвилин, то з високою імовірністю можна припустити, що **на подолання такої ж відстані на індивідуальному (особистому) автомобілі в умовах центральної частини сучасного міста, через значну перевантаженість ВДМ та необхідність пошуку місця для паркування, знадобиться приблизно такий же час.** Тому сучасні концепції мобільності в містах намагаються зробити пішохідний рух більш рівноправним з точки зору планування території.

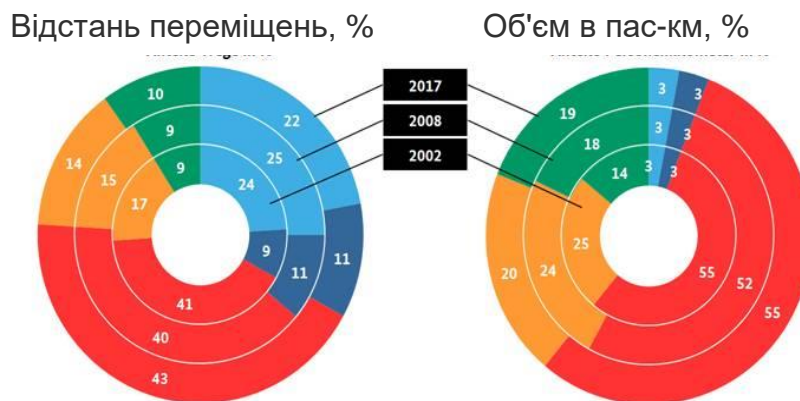


Рисунок 4.1.12 – Розподіл мобільності в Німеччині за видами пересувань
(Джерело: <https://bmvi.de>)

Основна вимога до планування центру сучасного міста полягає в **відділенні (розділенні) автомобільного та пішохідного руху шляхом концентрації забудови центру, максимального використання МГТ і обмеження руху індивідуальних автомобілів.**

Вивчення зарубіжного і вітчизняного досвіду показує, що **центральні частини історичних міст** зі значними труднощами можуть бути пристосовані до автомобільного руху. Тому необхідною умовою перетворення цих територій в сучасний міський центр є **обмеження або повна заборона транспортного руху** (переважно індивідуальних ТЗ). З іншого боку, такі території мають порівняно обмежені розмір та збережену історичну забудову, створюючи привабливе міське середовище, що обумовлює організацію в межах таких центрів **виключно пішохідного руху.**

Пішохідний рух в міському центрі викликаний, насамперед, пересуванням двох основних груп населення – **людей, що там працюють, та відвідувачів центру** з різних районів міста чи інших населених пунктів. Крім цього, в центрі можна спостерігати і **вільний пішохідний рух**, що представляє собою специфічну форму рекреації, пов'язану з потребою людей в таких прогулянках.

Залежно від можливостей поділу пішохідного і транспортного руху, а також зв'язків, що існують між ними, при плануванні території міського центру можливі такі види **організації пішохідного руху** [12]:

а) **повне відділення пішохідного руху від інших видів в часі і в просторі** (передбачає надання поверхні (рівня) землі саме пішохідному руху, а тому може вважатися оптимальним для великих міст);

б) пішохідний рух допускає наявність ТЗ на спільній з пішоходами площі (застосовується в старих, історичних центральних частинах міст; основною вимогою є ліквідація руху індивідуального автотранспорту в межах цих частин; обслуговуючий транспорт (насамперед – ТЗ спеціальних служб) допускається без обмежень);

в) пішохідний рух дозволяє використовувати ТЗ на спільній з пішоходами площі, але з обмеженням в певний час (рух ТП обмежується або забороняється в певні години, проте підвищена концентрація ТЗ в години пік є серйозною проблемою для пішохідного руху);

г) пішохідний рух допускає застосування засобів МГТ на окремо виділеній площі (реалізується переважно при реконструкції міського центру; обмеження руху індивідуальних АТЗ дає можливість розширити мережу МГТ, за рахунок чого поліпшити доступ пішоходів до зупинок та місць паркування, що розташовані на периферії центру).

д) пішохідний і транспортний рух повністю розділено в різних рівнях (зв'язок між ними передбачає використання додаткових транспортних пристроїв (рухомих тротуарів, ескалаторів), що зв'язують місця паркування або інші місця в центрі з пішохідним простором) (рисунок 4.1.13).



Рисунок 4.1.13 – Надземний пішохідний перехід в районі Пудонг (м.Шанхай, Китай) (джерело: <https://lifeglobe.net/entry/4343>)

е) організація пішохідного руху в різних комбінаціях з іншими учасниками руху (є комбінацією попередніх варіантів; наприклад, поєднання варіантів «в» і «г» передбачає введення обмежень за часом для індивідуальних автомобілів і необмежений рух МГТ).

Облаштування відокремлених шляхів пересування є найбільш очевидним та простим способом **відділення міського пішохідного руху** від руху транспорту. До цих шляхів відносять тротуари вулиць різного функціонального призначення, пішохідні доріжки на міжвуличних і внутрішньооб'єктних територіях, алеї, бульвари, пішохідні зони, площі, вулиці та стежки, наземні, надземні та підземні пішохідні переходи через транспортні мережі, інші перепони, тощо. Всі вищенаведені шляхи мають [13]:

- зв'язувати по найбільш коротких напрямках основні функціональні зони міста (житлові, промислові райони, загальноміські та районні центри, місця відпочинку) між собою, об'єкти та вузли масового тяжіння населення в межах планувальних та житлових районів, мікрорайонів, громадських центрів;
- забезпечувати вільний та безпечний рух пішоходів до місць прикладання праці, відпочинку, зупинок МГТ;
- враховувати потреби маломобільних груп населення.

Згідно сучасних підходів щодо забезпечення сталої міської мобільності, **тротуари є невід'ємною частиною міст і їм слід надавати пріоритет як центральній складовій орієнтованого на людину дизайну ВДМ будь-якого міста**. Підвищення якості міських тротуарів не тільки приваблює більше пішоходів, але й сприяє поліпшенню загальної безпеки, підвищенню ефективності вуличної торгівлі, допомагає створити приємні громадські простори, орієнтовані на людей, тобто сприяє формуванню **повністю пішохідних вулиць**.

Щоб зробити пішохідний рух в містах більш доступним та безпечним, фахівцями Центру сталого розвитку міста Інституту світових ресурсів ([WRI Ross Center for Sustainable Cities](#), [World Resources Institute](#)) пропонується будувати (реконструювати) та облаштовувати тротуари з урахуванням наступних принципів [14].

1. Правильні розміри. Тротуари складаються з трьох функціональних зон: вільної, по якій люди насправді пересуваються; зони обслуговування, де розташовані т.з. вуличні меблі (лави, сміттєві баки); перехідної, яка дає доступ з тротуару до вуличної забудови (рисунок 4.1.14).

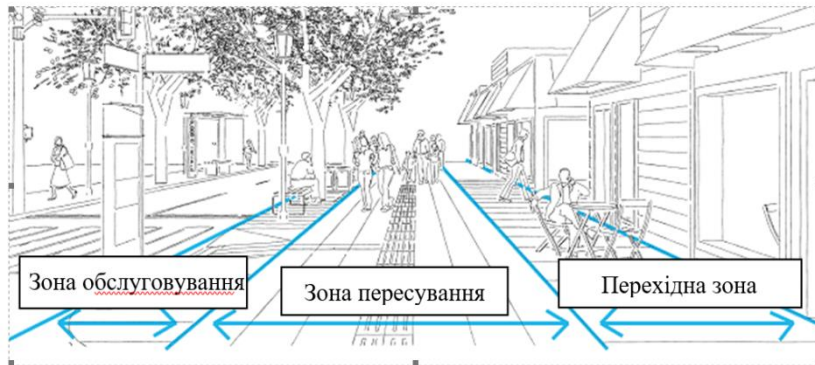


Рисунок 4.1.14 – Функціональні зони тротуару (Джерело: <https://thecityfix.com>)

2. **Якісні покриття поверхні.** Матеріали, які використовується для будівництва тротуару, мають бути міцними та стійкими до ковзання.

3. **Ефективне водовідведення.** Поперечний ухил тротуару повинен забезпечувати ефективне водовідведення, а наявність т.з. зеленої інфраструктури має цьому сприяти.

4. **Універсальна доступність.** Тротуар є публічним простором, що має бути доступним для широкого кола користувачів – у тому числі для осіб з обмеженими фізичними можливостями (людей на візках, на милицях, вагітних жінок, людей похилого віку та інших людей з особливими потребами в мобільності) (рисунок 4.1.15).

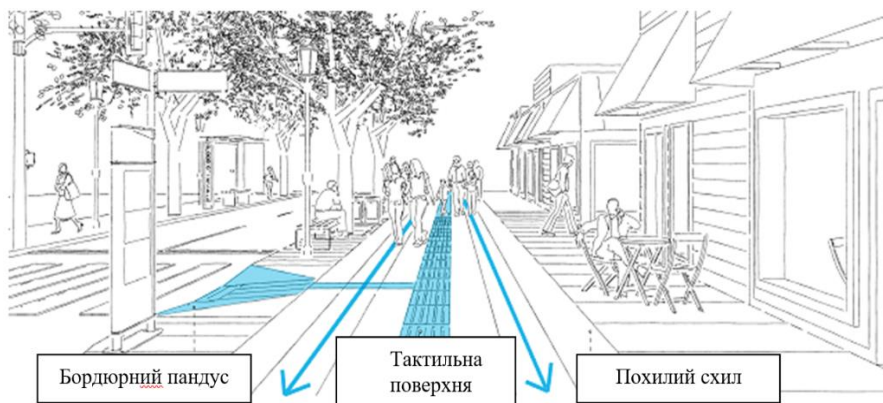


Рисунок 4.1.15 – Елементи, що формують універсальну доступність тротуару (Джерело: <https://thecityfix.com>)

5. **Безпечні зв'язки.** Пішоходи не лише пересуваються по тротуару, а і користуються різними видами МГТ. Тому пішохідна мережа міста повинна інтегрувати безпечні та доступні сполучення між різними міськими об'єктами (зупинками МГТ, перехрестями, алеями, сходами), що передбачає проектування коротших кварталів та пішохідних переходів, піднятих переходів, СФР з урахуванням середньої швидкості руху пішоходів тощо.

6. Привабливість вуличного простору. Вулиці є основною частиною міського середовища. Тротуари можуть зіграти важливу роль, щоб зробити його більш приємним. Цікаві та яскраві тротуари можуть захопити людей та зробити пішохідні пересування більш привабливими.

7. Постійне забезпечення. Тротуари «працюють» цілодобово, проте у певні періоди доби та тижня кількість людей зменшується, що може призводити до потенційно небезпечних ситуацій. Зовнішнє електроосвітлення та прозорі фасади будівель на першому поверсі заохочують до більшої активності пішоходів у будь-який час доби.

8. Чітке інформування. Подібно до водіїв, пішоходам теж потрібна чітка інформація, щоб вони могли зорієнтуватися в місті, а також зрозуміти правила та рекомендації щодо окремих вуличних об'єктів, що знаходяться неподалік (рисунок 4.1.16).



Рисунок 4.1.16 – Елементи інформаційного забезпечення пішоходів
(Джерело: <https://thecityfix.com>)

Пішохідні переходи

Пішохідний рух в містах майже завжди пов'язаний з необхідністю перетину ПЧ вулиці, для чого доцільно використовувати спеціальні місця – **наземні (вуличні) пішохідні переходи**. Згідно вимог [7]:

а). **Пішохідні переходи в одному рівні з ПЧ**, як правило, улаштовуються на відстані один від одного не менше ніж:

- на магістральних вулицях (дорогах) загальноміського значення з регульованим рухом – 300 м;
- на магістральних вулицях районного значення – 250 м;
- на житлових вулицях – 150 м;
- на дорогах промислових і комунально-складських зон – 200 м.

б). На таких переходах, у разі відсутності забудови, повинен бути забезпечений **трикутник видимості** не менше ніж 50x10 м. У зоні такого

трикутника не допускається розміщення споруд і зелених насаджень заввишки більше ніж 0,5 м.

в). На вулицях, які мають 2 і більше смуги руху в одному напрямку, на нерегульованих пішохідних переходах обов'язково повинні бути влаштовані **центральної островці безпеки**. За неможливості улаштування таких островців безпеки пішохідний перехід має бути лише регульованим.

г). Мінімальна **ширина островця безпеки** на вищевказаному переході становить 2,0 м, **мінімальна довжина** – 8,0 м. Острівець безпеки може влаштовуватись на розділювальній смузі або за рахунок звуження смуг ПЧ до 2,75 м та вигину осі смуги руху (рисунок 4.1.17).

д). Центральні островці безпеки повинні відрізнятися за типом покриття, структурою чи кольором, переважно бути піднятими над ПЧ з можливістю безперешкодного руху пішоходів, виділеними розміткою або мати зигзагоподібний вид з огороженням дорожнім бар'єрного типу (рисунок 4.1.18а). Для підвищених островців безпеки необхідно передбачати **пониження бордюру до рівня ПЧ або відсутність центральної частини островця** для забезпечення безперешкодного руху маломобільних груп населення та велосипедистів (рисунок 4.1.18 б).

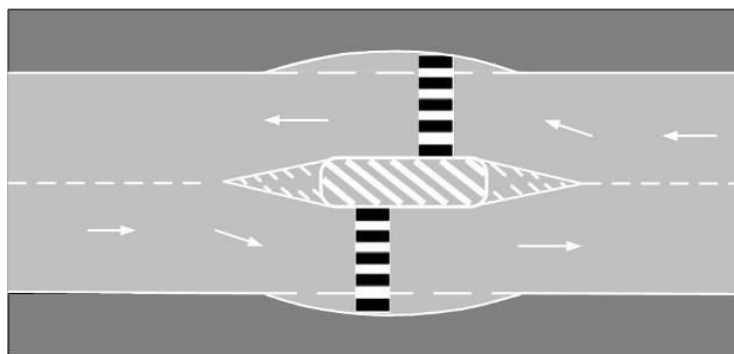


Рисунок 4.1.17 – Острівець безпеки на пішохідному переході
(Джерело: ДБН В.2.3-5:2018)

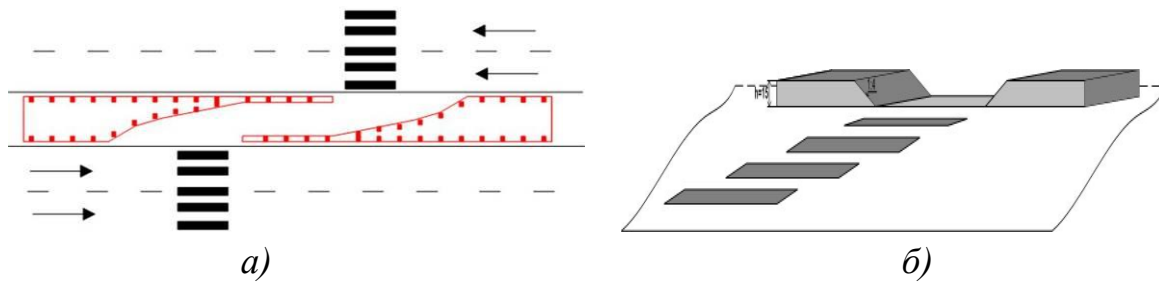


Рисунок 4.1.18 – Облаштування острівця безпеки на пішохідному переході (джерело: ДБН В.2.3-5:2018): а) використання огорожень бар’єрного типу; б) відсутність центральної частини острівця

е). **Ширина ділянки для руху пішоходів на острівцях безпеки** повинна бути не менша, ніж ширина пішохідного переходу. На переходах поблизу навчальних закладів, а також в інших місцях інтенсивного пішохідного руху, можуть улаштовуватися **підвищення ПЧ до рівня тротуарів**, у тому числі за допомогою настилів.

За характером управління пішохідним рухом **наземні переходи** можуть бути розділені на такі групи: **нерегульовані; з неповним СФР; з повним СФР.**

Нерегульовані переходи є найбільш численними. Очевидна мета влаштування таких переходів полягає в тому, щоб **виключити хаотичний рух пішоходів через ПЧ** і направити їх на більш потенційно безпечні місця (насамперед - з точки зору умов видимості). Тому **основною задачею управління на таких переходах** є максимально ефективно інформування пішоходів щодо точного розташування зони перетину ПЧ за допомогою їх позначення технічними засобами (ДЗ, дорожньою розміткою, напрямними пристроями тощо) (рисунок 4.1.19).

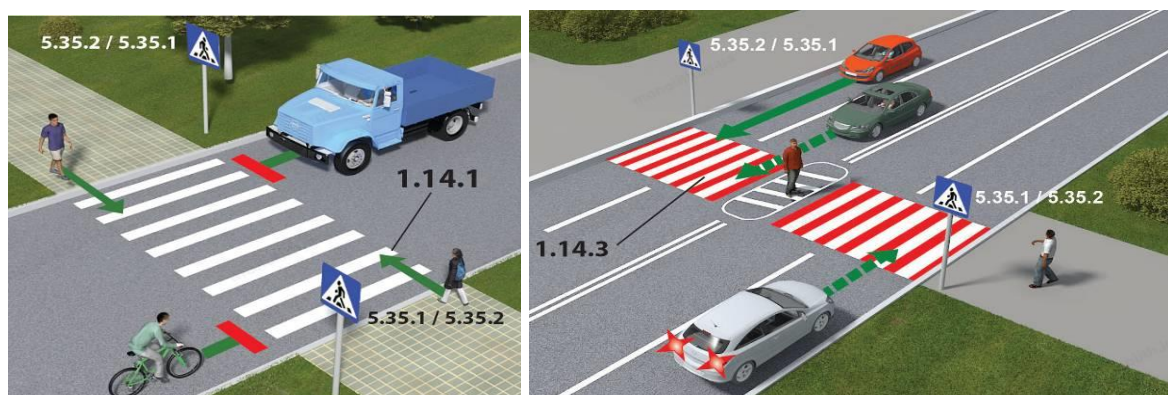


Рисунок 4.1.19 – Типове облаштування нерегульованих пішохідних переходів (Джерело: <https://green-way.com.ua>)

До 2-ої групи відносять такі **переходи на регульованих перехрестях**, на яких при сигналі транспортного світлофора, що дозволяє рух пішоходів на відповідному підході до перехрестя, дозволяється також право- або лівоповоротне маневрування ТЗ, в процесі якого вони перетинають шлях пересування цих пішоходів.

На переходах 3-ї групи для **пішоходів** в циклі СФР **виділяється спеціальний час (фаза)**, протягом якого рух ТЗ через місце розташування **переходу повністю припиняється**. У таких місцях також може бути реалізований **режим безконфліктного пішохідного переходу «на вимогу»** (тобто лише при реальній необхідності перетину ПЧ), коли ввімкнення на світлофорах потрібної комбінації сигналів здійснюється за командою пішохода (з пристроєм ручного виклику) чи автоматичного засобу управління (контролера).

*Загальні вимоги та рекомендації
щодо організації нерегульованих пішохідних переходів в Німеччині*

У Німеччині існує окремий документ для проектування нерегульованих пішохідних переходів «Richtlinien für die Anlage und Ausstattung von Fußgängerüberwegen» (R-FGÜ 2001) [15], згідно з вимогами якого **такі переходи можна організовувати виключно:**

- на території міст і сільських поселень (оскільки за містом часто спостерігаються досить високі швидкості руху ТЗ, які не дозволяють водіям вчасно зреагувати на появу пішохода на ПЧ);
- на ділянках з допустимою швидкістю ТЗ 50 км/год (максимальна рекомендована ВООЗ швидкість руху транспорту в містах);
- у місцях, де пішохід повинен перетнути лише одну смугу руху транспорту в кожному напрямку (ця вимога пов'язана із забезпеченням взаємної видимості пішохода і ТЗ; припарковані автомобілі та автомобілі, що рухаються в сусідній смузі, обмежують видимість і, як наслідок, призводять до аварійних ситуацій);
- у місцях, де з обох боків вулиці за ПЧ є тротуар або окрема пішохідна доріжка (вважається, що при відсутності таких спеціальних шляхів для поздовжнього руху пішоходів інтенсивність їх поперечного руху незначна).

В свою чергу, **такі переходи не можна влаштовувати:**

- поблизу ділянок зі СФР руху ТЗ;
- на ділянках ВДМ з координованим СФР руху ТЗ;
- на відокремлених смугах для руху МГТ;
- на вулицях з рухом трамваю не по відокремленій колії;
- на перехрестях, на яких головна вулиця змінює свій напрямок;
- на спільній вело-пішохідній доріжці.

Рекомендації щодо доцільності організації нерегульованих пішохідних переходів в залежності від умов завантаження рухом ТЗ та пішоходів наведені в таблиці 4.1.8.

Таблиця 4.1.8 – Рекомендації щодо доцільності організації нерегульованих пішохідних переходів (Джерело: R-FGÜ 2001)

Інтенсивність пішохідного потоку в години пік робочого дня, піш/год	Інтенсивність руху ТЗ в одному (більш завантаженому) напрямку, авт./год					
	До 200	200–300	300–450	450–600	600–750	Понад 750
0–50						
50–100		Перехід можливий	Перехід можливий	Перехід рекомендований	Перехід можливий	
100–150		Перехід можливий	Перехід рекомендований	Перехід рекомендований		
Понад 150		Перехід можливий				

На вулицях з дозволеною швидкістю 30 км/год організація нерегульованого переходу не є обов'язковою.

При влаштуванні нерегульованого переходу передбачається, що ПП є зосередженим. Якщо це не так, то такий **перехід не організовується** – на всій ділянці вздовж вулиці, де рух пішоходів можливий, для полегшення їх переходу влаштовуються розділювальні смуги чи острівці безпеки з невеликим кроком.

При ширині ПЧ більш ніж 8,5 м рекомендується влаштування **центрального острівця безпеки** для пішоходів.

При організації нерегульованого пішохідного переходу має бути забезпечене його чітке розпізнавання, а також видимість пішоходів для водіїв. Запарковані ТЗ і зупинки МГТ не повинні цьому перешкоджати

При наявності об'єктів, які обмежують видимість (наприклад, дерев, чагарників, огорожень) необхідно розширювати тротуар в напрямку ПЧ.

Пішохідні переходи розташовуються перед автобусною зупинкою (по ходу руху) – щоб автобус, який зупинився в заїзній кишені, не заважав видимості пішоходів і автомобілів. Якщо ж автобус зупиняється на ПЧ, то нерегульований пішохідний перехід влаштовується перед ним (при цьому необхідно надійно заборонити іншим ТЗ об'їжджати автобус, що зупинився (наприклад, за рахунок облаштування розділової смуги та (чи) встановлення огороження)).

Дорожня розмітка (осьова лінія ПЧ, позначення меж переходу) має бути наявна у будь-якому випадку.

При недостатньому освітленні необхідно забезпечити штучне освітлення зони переходу.

Згідно з дослідженнями, **при дотриманні зазначених рекомендацій нерегульований пішохідний перехід буде більш безпечним, ніж перехід із СФР**. Це забезпечується взаємною видимістю пішохода і ТЗ, а також менш комфортними умовами для пересування автомобілів з високою швидкістю.

Корекція елементів циклу СФР для гарантування безпеки пішохідного переходу

Основним видом УДР у містах є СФР, яке найчастіше призначене для почергового пропускання учасників руху через певну ділянку ВДМ (перехрестя, перехід). За наявності на такій ділянці **поперечного пішохідного руху** він також **впливає на параметри циклу СФР**, оскільки час, який відводять для перетину ПЧ пішоходами, розраховують з інших міркувань, ніж показники, на основі яких встановлюють значення тривалостей дозвільних сигналів для ТЗ.

Корекція тривалості елементів циклу СФР при ввімкнених в одній фазі дозвільних сигналів для ТЗ та для пішоходів може здійснюватися **трьома способами** [16]:

- збільшенням тривалості певного елемента циклу СФР;
- збільшенням тривалості групи елементів циклу;
- визначенням нових співвідношень між елементами циклу.

Суть першого способу полягає у тому, що **тривалість основного такту СФР збільшується до величини, необхідної для гарантування пішоходам можливості перетнути ПЧ упродовж відповідної фази регулювання**, що є вимогою [8]. Недоліки цього способу:

- у разі наявності широкої ПЧ з одностороннім рухом тривалість мінімального часового проміжку для пішохідного напрямку може перевищувати нормативне значення, а також ставати визначальною у розрахунку тривалості перехідного інтервалу;
- не враховується тривалість виходу на ПЧ кількох рядів пішоходів;
- немає зв'язку між збільшенням основного такту та перехідним інтервалом для гарантування безпеки пішоходів;
- відсутня диференціація мінімального часу залежно від тривалості ввімкнення заборонного сигналу в кінці перехідного інтервалу.

При другому способі корекції **тривалості всіх основних тактів СФР збільшуються пропорційно таким чином, щоб тривалість коригованого основного такту забезпечувала необхідний мінімум тривалості для**

пішоходів. Недоліком цього способу є те, що за певних умов (зокрема, якщо рух пішоходів у певній фазі передбачає перетин ПЧ значної ширини, а тривалість основного такту цієї фази відповідно до транспортного завантаження є незначною) внаслідок вказаної корекції основних тактів їх сумарна тривалість може перевищити 120 с.

Принцип корекції пошуком нових співвідношень (третьої способ) полягає у **розрахунку нового фазового коефіцієнту для фази, у якій дозволяється пішохідний рух**, для того, щоб його значення відповідало збільшеній за рахунок дозвільного сигналу для пішоходів тривалості основного такту СФР. Недоліком є те, що процедура визначення коригованих фазових коефіцієнтів еквівалентна до введення псевдонапрямку регулювання з рівнем завантаження рухом, що відповідає мінімальній тривалості дозвільного сигналу для пішоходів.

Визначення тривалості елементів циклу СФР для гарантування безпеки переходу ПЧ пішоходами передбачає виконання наступних дій [16].

Мінімальна величина тривалості дозвільного сигналу для пішоходів у циклі СФР (час, що необхідний для перетину ними ПЧ), визначається за формулою, с [8] (число «5» у формулі дорівнює верхній межі рекомендованого часу т.з. **перехідного інтервалу** між моментами закінчення миготіння дозвільного сигналу для пішоходів та початку дозвільного сигналу конфліктного напрямку):

$$t_{niu} = \frac{B}{V_{niu}} + 5, \quad (4.1.6)$$

де B – ширина ПЧ у місці переходу, м; V_{niu} – швидкість руху пішоходів на переході, м/с (приймається 1,3 м/с).

Проте у цій формулі не враховано час, що необхідний для виходу на ПЧ кількох рядів пішоходів, які можуть накопичуватися перед переходом в очікуванні дозвільного сигналу. Тому величина мінімального часу, що необхідний для перетину ПЧ групою пішоходів, має бути дещо більшою, с:

$$t_{niu} = \frac{B}{V_{niu}} + t_{zn} + \frac{d_{niu}(n-1)}{V_{niu}} + 5, \quad (4.1.7)$$

де t_{zn} – тривалість реакції і затримки перед початком руху першого ряду пішоходів (приймають 2,5 с); d_{niu} – дистанція між рядами пішоходів (приймають 0,2 м); n – кількість рядів пішоходів.

Кількість рядів пішоходів визначають таким чином (результат округляють у бік більшого цілого числа):

$$n = \frac{n_{cp}}{0,5H}, \quad (4.1.8)$$

де H – ширина переходу, м; n_{gp} – кількість пішоходів у групі, осіб.; визначається за такою формулою (результат також округляють):

$$n_{gp} = \frac{N_{niu}}{3600} (T_{\text{ц}} - (t_{om}^k + t_{ni}^k - t_{max}[i, j])), \quad (4.1.9)$$

де N_{niu} – інтенсивність пішохідного руху, осіб/год; $T_{\text{ц}}$ – тривалість циклу СФР, с; t_{om} – тривалість основного такту k -ої фази, до якої входить пішохідний напрямок, с; t_{ni} – тривалість перехідного інтервалу цієї k -ої фази, с; $t_{max}[i, j]$ – максимальний час, що необхідний для проходження ПЧ останнім пішоходом, який вийшов на неї до моменту початку миготіння дозвільного сигналу, с.

З урахуванням входження до перехідних інтервалів мінімальних проміжків пішохідних напрямків, формула для визначення тривалості втраченого в циклі СФР часу має бути скоригована таким чином, с:

$$L = \sum_{k=1}^m (t_{max}^k [i, j] - 1) \quad (4.1.10)$$

Якщо визначені з урахуванням останньої формули тривалості основних тактів циклу СФР будуть меншими від величин часу, що потрібний для гарантування безпечного переходу ПЧ пішоходами, вказані тривалості основних тактів також підлягають коригуванню (крім того, потрібно пропорційно збільшити тривалості інших основних тактів, які не коригувалися).

На рисунку 4.1.20 наведено залежності величин тривалості (часу), що необхідні пішоходу для перетину всієї ПЧ та її половини з розрахунковою швидкістю [8], а також максимальні та мінімальні значення часу, що відводять для цього з урахуванням проведених аналітичних розрахунків.

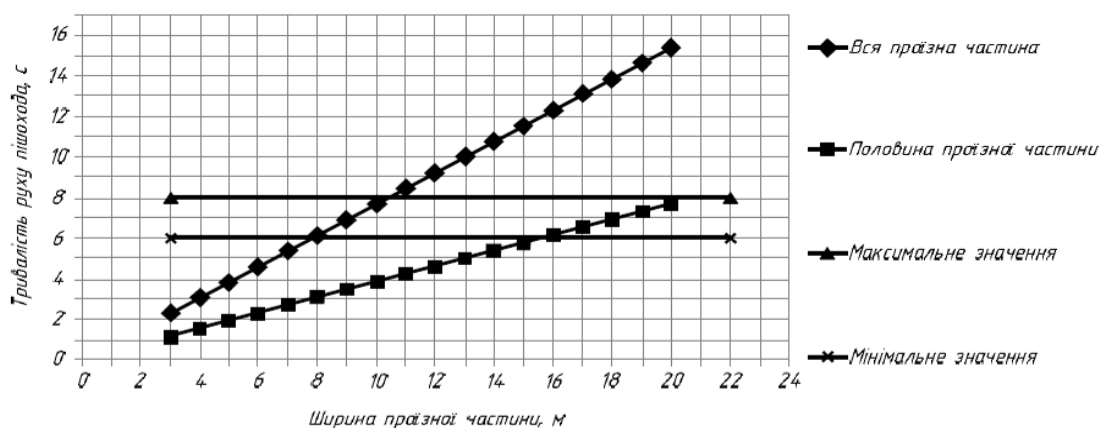


Рисунок 4.1.20 – Розрахункові та нормативні тривалості (час) перетину пішоходами ПЧ (Джерело: [16, с.182])

Якщо величина часу, що необхідний для перетину ПЧ пішоходами, перевищує максимальне нормативне значення, **рекомендують застосовувати табло зворотного відліку часу дозвільного сигналу для пішоходів**. При цьому також потрібно зважати на динаміку аварійності на досліджуваному пішохідному переході, а також на практичну неможливість застосування такого табло при використанні адаптивних алгоритмів СФР.

Таким чином, застосування запропонованого підходу дасть змогу не лише **формалізувати процедуру корекції елементів циклу СФР для гарантування безпеки пішоходів**, зокрема, і в умовах високої інтенсивності їхнього руху, за якої в очікуванні дозвільного сигналу пішохідного світлофора утворюються групи людей, а і визначити **умови, за яких доцільним є введення табло зворотного відліку часу дозвільного сигналу на регульованих пішохідних переходах як у зоні перехресть, так і на перегонах вулиць**.

Практичні заходи для підвищення безпеки руху пішоходів в містах

Для підвищення рівня БР пішоходів в містах Європи широко застосовуються заходи як інженерно-планувального, так і організаційного характеру [17,18].

1. Диференціація швидкісного режиму відповідно до типу вулиці – перший крок на шляху до підвищення безпеки для пішоходів. Вулиці в містах Європи найчастіше розділяють на 3 типи:

- **звичайні** з наявними 2–4 смугами ПЧ, на яких має місце загальне обмеження максимальної швидкості до 50 км/год;
- **вулиці в центральних та інших районах** зі значною інтенсивністю руху пішоходів з наявними 2–3 смугами ПЧ, на яких вводиться обмеження максимальної швидкості до 30 км/год (рисунок 4.1.21);
- **магістральні вулиці** з повним виключенням можливості сумісного руху пішоходів і велосипедистів з автомобілями, на яких дозволена швидкість може складати 80 км/год.



Рисунок 4.1.21 – Обмеження максимальної швидкості в центральній частині м. Відень (Австрія) (Джерело: <https://proboknet.livejournal.com>)

2. Звуження ПЧ за рахунок штучного зменшення ширини смуги (так, щоб місця на ній вистачало рівно на ширину автомобіля), з одного боку, сприяє скороченню довжини пішохідних переходів, зменшуючи загрозу для людей, з іншого – створює передумови для збільшення ширини тротуарів, що вкрай важливо в щільних міських умовах. Крім того, таке звуження також має певний психологічний вплив на водіїв – вони стають більш уважними та знижують швидкість руху своїх автомобілів.

3. Влаштування центральних островців безпеки на пішохідному переході є одним з найефективніших способів підвищення рівня загальної БР, оскільки:

- пішоходи, які не встигли перейти через ПЧ, можуть спокійно перечекати на такому островці моменту появи прийнятного для завершення переходу інтервалу між в ТЗ чи ввімкнення відповідного дозвільного сигналу;
- через деяке звуження ПЧ водії знижують швидкість своїх ТЗ;
- якщо такі островці мають місце на переходах безпосередньо перед перехрестями – зменшуються радіуси імовірних траєкторій лівоповоротного руху ТЗ, що також змушує їх водіїв знизити швидкість (рисунок 4.1.22).

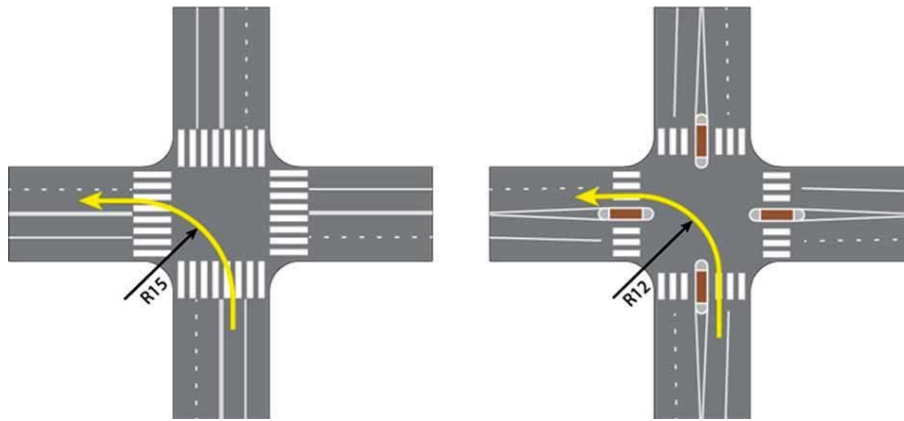


Рисунок 4.1.22 – Траєкторії лівоповоротного руху ТЗ на перехрестях за відсутності та при наявності центральних острівців безпеки на пішохідних переходах (Джерело: <https://proboknet.livejournal.com>)

4. Зменшення довжини пішохідного переходу до можливого мінімуму призводить до скорочення шляху (а отже, і часу) перетину пішоходами ПЧ.

Одним зі способів вирішення такої задачі є **сумісне виділення (артикуляція) пішохідного переходу та зони паркування ТЗ** (в межах правих крайніх смуг ПЧ) за допомогою бортового каменю, різних матеріалів покриття та запобіжних стовпчиків, що унеможливають заїзд і паркування ТЗ на переходах/тротуарах (рисунок 4.1.23).



Рисунок 4.1.23 – Сумісне виділення (артикуляція) нерегульованого пішохідного переходу та зони паркування ТЗ на міській вулиці (джерело: <http://urbanua.org>)

За рахунок цього не лише скорочується довжина пішохідного переходу, але і поліпшуються умови виявлення водіями ТЗ людей на ньому, що також підвищує безпеку пішоходів. Крім цього, чітко зрозумілим для всіх учасників руху є функціональне призначення крайніх правих смуг як суто паркувальних (тобто не виникає питання – стоїть (паркується) ТЗ на цій смузі чи використовує її для проїзду).

5. Підвищення висоти пішохідних переходів не тільки створює антишвидкісний пагорб, але й поліпшує видимість пішоходів для водіїв, збільшуючи їхні шанси бути поміченими в межах переходу вночі або в людних місцях (рисунок 4.1.23). Наявність такої конструкції переходу чітко вказує на те, що пішоходи мають пріоритет. Коли такі переходи знаходяться в одному рівні з тротуаром, створюються умови для плавного пересування (насамперед - людям з інвалідністю, особам з травмами, батькам з дитячими візочками, тощо).

6. Влаштування штучних нерівностей покриття ПЧ (поперечних дорожніх пагорбів незначної висоти) не є найбільш популярним інструментом заспокоєння руху у Європі, проте вони дають змогу досить просто та достатньо ефективно уповільнити рух ТЗ в необхідних місцях. Правильно сконструйований пагорб дає змогу автомобілям, які рухаються з незначною (безпечною) швидкістю, легко його долати без необхідності застосування водіями різких сповільнень чи прискорень. За даними досліджень, саме такі пагорби на практиці найбільш надійно забезпечують дотримання водіями обмеження швидкості серед всіх засобів заспокоєння руху.

7. Створення на ПЧ штучних поворотів (шикан) найчастіше застосовується в житлових кварталах. Неможливість тривалого прямолінійного пересування ТЗ досягається за рахунок створення додаткових локальних розширень (виступів) тротуару чи розташування на краях ПЧ зручної для пішоходів інфраструктури («кишенькових парків» або міських меблів) (рисунок 4.1.24).

Також вказане штучне викривлення вулиці можна влаштувати за рахунок створення на крайніх смугах ПЧ паркувальних місць в шаховому порядку. Необхідність постійного коригування траєкторії пересування змушує водія підвищувати пильність при проїзді таких ділянок та зменшувати швидкість керованого ним ТЗ.



Рисунок 4.1.24 – Штучні повороти (шикани) (Джерело: ДСТУ 4123:2020)

8. Платформи для трамвайних зупинок. Трамвай – такий вид міського транспорту, який не завжди має можливість забезпечити посадку (висадку) пасажирів безпосередньо з тротуару. Тому для підвищення безпеки для пішоходів в Європі проектують спеціальні трамвайні зупинки, які служать буферною захисною зоною між трамваєм і потоком автомобілів. У цього заходу є дві основні переваги - пасажир безпечно виходять на тротуар, а автомобілі продовжують рух, не зупиняючись для пропуску пішоходів.

9. Заміна СФР на перехрестях кільцевим рухом. СФР пішохідного руху за певних обставин може стати передумовою скоєння ДТП (людям властиво поспішати, часом нехтуючи заборонними сигналами світлофорів). Тому в Європі невеликі перехрестя без інтенсивного транспортного руху реконструюють, влаштовуючи кільцеві розв'язки на одному рівні (т.з. **міні-кільця** – рисунок 4.1.25), що сприяє зменшенню швидкості руху ТЗ (оскільки водії змушені гальмувати при переході з прямолінійної ділянки на криволінійну).

На закінчення зазначимо, що **вимоги щодо конструкції та умов застосування на ділянках інтенсивного пішохідного руху в містах України більшості зі вказаних засобів заспокоєння ДР** (зокрема, дорожніх пагорбів, підвищених пішохідних переходів, шикан, міні-кільця, чокерів та вставок по осі дороги) визначені *ДСТУ 4123:2020* [19].



Рисунок 4.1.25 – Кільцева розв'язки на міському перехресті (міні-кільце)
(Джерело: ДСТУ 4123:2020)

Тема 2. Тенденції управління рухом в центрі міста Theme 2. Traffic management trends in the city centre

*С.В. Янішевський, О.М. Куницька, Л.В. Савченко
Yanishevskiy Serhii, Kunytska Olha, Savchenko Lidia*

2.1. Організація та управління велосипедним рухом 2.1. Organization and management of cycling

Велосипедний рух як вид активної міської мобільності

У містах вибір виду транспорту або комбінації видів транспорту для поїздки здійснюється користувачами виходячи з таких критеріїв, як вартість, доступність, час поїздки та її комфортність, число пересадок і т.д. Разом з тим, вимоги екологічності та безпеки враховуються не завжди.

У 2006 році Європейська комісія вперше застосувала в транспортній політиці нове поняття **«спільне використання видів транспорту – інтермодальність (co-modality)»**, під якою розумілося самостійне і комбіноване використання різних видів транспорту з метою оптимального та сталого використання ресурсів [19]. **Концепція інтермодальності** передбачає будівництво міських транспортних систем (МТС), що поєднують пріоритетний розвиток і спільне використання МГТ, систем **колективного користування пасажирським транспортом**, а також **різних видів активної мобільності** (в т.ч. велосипедного та пішохідного руху, скутерів, скейтів, роликів ковзанів, тощо). Впровадження останніх має два позитивні аспекти:

- по-перше, воно зменшує частоту використання інших видів транспорту (насамперед – особистого АТ), за рахунок чого знижується навантаження на МТС та зменшуються викиди шкідливих речовин, рівень шуму, тощо;
- по-друге, **підвищується фізична активність населення**, що призводить до імовірного зменшення рівня захворюваності та смертності жителів міста.

Активна мобільність може використовуватися як **самостійно** (для пересувань на відстані до 3–5 км для велоруку та до 1–2 км – для пішохідного руху), так і в складі **комбінованих (інтермодальних) транспортних ланцюжків**, особливо в ув'язці з роботою ГТ.

В більшості міст Європи визнали важливе значення велосипедного руху і включають цей вид транспорту до планів сталої мобільності. Велосипедний рух - це відмінний спосіб доставки пасажирів до станцій (зупинок) ГТ, тому зв'язок з ГТ є ключовою особливістю велосипедного руху як системи. У такому **поєднанні велосипедного руху і МГТ ключовою перевагою** є те, що вони спільно забезпечують **стійкість перевезень від дверей до дверей** на значні

відстані (багатьом користувачам МГТ це дає можливість скоротити час на подолання т.з. першої і останньої милі до і від зупинок МГТ і пересадочних вузлів).

Для поліпшення інтермодальності між МГТ та велосипедним рухом вкрай важливо забезпечити зв'язок станцій (зупинок ГТ) з усією мережею велосипедних маршрутів міста, а також створити велопарковки в ключових точках з'єднання з мережею ГТ. Організації та компанії, що надають послуги ГТ, повинні забезпечувати велосипедистів доступними послугами та інформацією в рамках своєї основної клієнтської політики (наприклад, продаж разом з проїзними білетами платіжних карт точок велопрокату і велопарковки).

Місто Копенгаген (Данія) є одним з найбільш успішних в Європі щодо впровадження велосипедного руху - 62% його жителів їздять на роботу або до школи на велосипеді (у 7 разів частіше, ніж на автомобілі), загальний велопробіг становить понад 2 млн. км/добу (рисунок 4.2.1).



Рисунок 4.2.1 – Велосипедний рух в м. Копенгагені (Данія)
(Джерело: <https://boomerang-boardshop.ua>)

У розвиток велосипедного руху лише за минуле десятиліття проінвестували \$ 150 млн. Сьогодні велосипедна мережа міста становить більш ніж 410 км на території площею близько 90 км². Населення відрізняється низьким рівнем володіння автомобілем (як для міста з ВВП на душу населення понад \$ 25 тис.). Крім того, Копенгаген відомий тим, що при снігопадах комунальна техніка розчищає спочатку велодоріжки, а лише потім – вулиці.

Умови для велосипедного руху в місті модернізуються з використанням **інноваційних інструментів транспортного планування**, а також завдяки

реалізації численних **організаційних заходів, орієнтованих на попит**; до числа останніх, зокрема, належать:

- постійна оцінка поточних умов для велосипедистів шляхом відповідних опитувань та їх аналіз;
- розширення мережі велосипедних маршрутів шляхом створення відсутніх елементів велосипедних доріжок та модернізації існуючих ділянок;
- розширення пропускної здатності велодоріжок у відповідності до фактичних та прогнозованих потреб велосипедного транспорту;
- збільшення середньої швидкості велосипедного руху з метою мінімізації часу поїздки (наприклад, приєднання його до т.з. «зелених маршрутів» (Greenways), введення права пріоритетного проїзду на перехрестях, організація координованого СФР для велосипедистів, створення велосипедних супермагістралей);
- створення велопаркувальної інфраструктури (офісні споруди - 0,5 місця на одного співробітника, житлові будинки - 2,5 місця на 100 м²).
- підвищення зручності інтермодальних пересадок з велосипеда на МГТ;
- впровадження додаткових послуг та інновацій для просування велосипедного руху (наприклад, світлодіодні попереджувальні датчики на перехрестях, підніжки перед світлофорами, повітряні насосні станції).

Основні задачі організації велосипедного руху в місті

Більш широке використання велосипедів в містах для трудових поїздок та активного відпочинку найчастіше аргументують **повною екологічною безпекою велосипеда та його сприятливим впливом на стан здоров'я людей** (природно, при дозах навантаження, що відповідають віку і стану здоров'я конкретної особи). Проте рух велосипедистів в умовах інтенсивних ТП на вулицях більшості міст також може становити досить значну потенційну небезпеку для них як з точки зору можливості виникнення ДТП, так і у зв'язку зі значним рівнем забруднення атмосферного повітря на окремих ділянках ВДМ міста.

Тому раціональна організація велосипедного руху в місті в загальному випадку передбачає вирішення наступних **основних задач** [20]:

- створення умов для необхідного відокремлення та захисту від автомобільного руху;
- забезпечення достатньої пропускної здатності велосипедних смуг та доріжок (оскільки потік велосипедистів за характером руху багато в чому подібний до ТП, для теоретичного аналізу цілком обґрунтовано застосовувати поняття динамічного габариту та пропускної здатності; теоретичну пропускну

здатність смуги велодоріжки в умовах безперервного колонного руху можна приймати рівною 1000 од/год);

- облаштування безпечних перетинів з ТП на переїздах та перехрестях на одному рівні;

- інформаційне забезпечення велосипедистів щодо напрямків та режимів їх руху;

- виділення та облаштування місць для тимчасового зберігання велосипедів біля об'єктів тяжіння (це є важливим, оскільки кожному велосипедисту треба гарантувати збереження і можливість швидкого виявлення свого велосипеда; для цього необхідні спеціальні пристрої, які дають змогу компактно і надійно розташовувати велосипеди, а також забезпечити зручний доступ до них власників).

Загальні положення формування велосипедної інфраструктури в містах України

Велосипед як індивідуальний ТЗ пересування доцільно використовувати в населених пунктах та на прилеглих до них територіях для **регулярних транспортних поїздок від місць проживання** (житлові райони, мікрорайони, квартали, малі міста та сільські населені пункти приміської зони) **до місць призначення** (райони масового скупчення, місць прикладання праці, торгові центри, учбові, спортивні та розважальні заклади, вокзали, станції, зупинні пункти різних видів ГТ), а також для **поїздок з рекреаційними, туристичними та прогулянковими цілями** у місця, що розміщені у межах та за межами населених пунктів [13].

Основними шляхами пересування для велосипедистів в містах є [7]:

- **велосипедна доріжка** – ділянка з покриттям поза межами ПЧ вулиці та/або дороги, розташована окремо чи суміжно з тротуаром або пішохідною доріжкою, що призначена для руху на велосипедах, інвалідних колясках, немоторизованих засобах пересування і позначена відповідними ДЗ та дорожньою розміткою;

- **велосипедна смуга** - смуга, призначена для руху велосипедистів в межах ПЧ вулиці та/або дороги, яка виділена за допомогою дорожньої розмітки або конструктивно.

Вибір форми організації велосипедного руху **залежить від категорії вулиці чи дороги** (таблиця 4.2.1).

Таблиця 4.2.1 – Форми організації велосипедного руху [7]

Категорія вулиці		Форма організації велосипедного руху			
		Велодоріжка	Вело смуга	Вело-пішохідна доріжка	Рух по ПЧ
Магістральні дороги		X			
Магістральні вулиці загальноміського значення	Безперервного руху	X		X	
	Регульованого руху	X	X	X	
Магістральні вулиці районного значення	Регульованого руху	X	X		
Вулиці і дороги місцевого значення	Житлові вулиці	X	X		X
	Вулиці та дороги в науково-виробничих, промислових і комунально-складських зонах	X	X		X
	Пішохідні вулиці	X		X	
	Проїзди				X
Примітка. Спільна велосипедно-пішохідна доріжка влаштовується за сумарної інтенсивності руху не більше ніж 75 од./год					

Велосипедні доріжки слід влаштовувати переважно односторонніми з обох боків вулиці. За наявності забудови з одного боку вулиці слід влаштовувати велодоріжку двостороннього руху на забудованій стороні. Велосипедні смуги проектується лише для одностороннього руху. На вулицях з одностороннім рухом ТЗ велосипедний рух слід передбачати в обох напрямках.

У межах ландшафтно-рекреаційних територій (парки та лісопарки), а також вздовж водойм та залізниць **велосипедні та вело-пішохідні доріжки передбачаються переважно з двостороннім рухом**. При цьому, слід передбачати заходи з розділення потоків велосипедистів та пішоходів (рисунок 4.2.2).

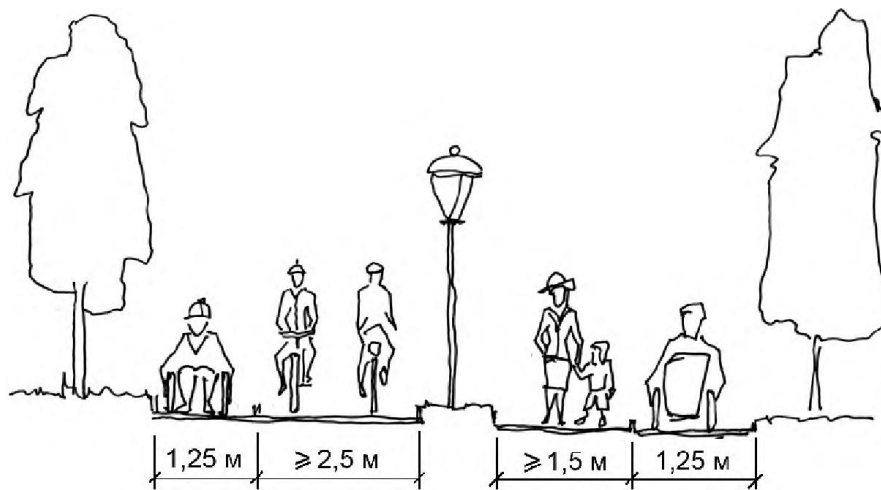


Рисунок 4.2.2 – Вело-пішоходна доріжка (Джерело: [13])

Конструктивні параметри велосипедних смуг та доріжок визначаються з урахуванням інтенсивності руху велосипедистів, автомобілів, вантажного транспорту, пішоходів, а також ширини ПЧ та ширини **бокового простору** (газонів, тротуарів, технічних тротуарів, зелених зон). Дані про їх ширину наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Мінімальна ширина велосипедних смуг та доріжок [7]

Форма організації велосипедного руху	Мінімальна ширина, м	
	Нове будівництво	Реконструкція
Велосипедна смуга	1,85	1,5
Велосипедна доріжка з одностороннім рухом	1,85	1,5
Велосипедна доріжка з двостороннім рухом з обох боків вулиці	2,5	2,0
Велосипедна доріжка з двостороннім рухом з одного боку вулиці	3,0	2,5
Спільна вело-пішохідна доріжка	3,0	2,5

Стоянки для тимчасового короткочасного (до 1 години) та тривалого (кілька годин, цілий день або ніч) зберігання велосипедів розміром 2,0×0,6 м кожна, відокремлені стоянками (клямками) заввишки 0,75 м і завдовжки 1,6 м, влаштовують біля об'єктів масового відвідування, а також біля станцій метрополітену та зупинок приміських електропоїздів, на кінцевих зупинках та у вузлах пересадки з вуличного міського на приміський транспорт.

Велосипедні переїзди в одному рівні з ПЧ, як правило, влаштовуються через вулиці (дороги) на відстані один від одного не менше ніж:

- на магістральних вулицях (дорогах) загальноміського значення з регульованим рухом – 300 м;
- на магістральних вулицях районного значення – 250 м;
- на житлових вулицях – 150 м;
- на дорогах промислових і комунально-складських зон – 200 м.

Острівці безпеки для велосипедистів слід влаштовувати на нерегульованих переїздах та, за можливості, на регульованих переїздах. Ширина ділянки для руху велосипедистів на них повинна бути не менша, ніж ширина переїзду. Центральні острівці безпеки повинні відрізнятися за типом покриття, структурою чи кольором. Для підвищених острівців безпеки необхідно передбачати пониження бордюру до рівня ПЧ або відсутність центральної частини острівця для забезпечення безперешкодного руху велосипедистів та маломобільних груп населення.

Велосипедні переїзди повинні мати переважно контрастне зовнішнє освітлення.

Організація велосипедних смуг та доріжок в містах Німеччини

Розглянемо **основні методичні положення щодо вирішення окремих задач організації та управління велосипедним рухом на прикладі міст Німеччини**, що наведені в «Рекомендаціях з організації руху велосипедного транспорту» (Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA 2010) [21]).

Зауважимо, що за даними Федерального міністерства транспорту і цифрової інфраструктури Німеччини (BMVI), велосипедні поїздки з часткою в 11 % є третім за популярністю видом мобільності (рисунок 4.1.12).

Захисна смуга – це частина ПЧ, що призначена для пересування велосипедистів; автомобілям дозволено виїжджати на неї лише за потреби (наприклад, при зустрічному роз'їзді із вантажівкою). Також на таких смугах ТЗ не дозволяється паркуватися.

Захисні смуги позначають пунктирними лініями дорожньої розмітки 340 (1 м штриха - 1 м розриву), яку слід наносити також у зоні перехресть та примикань (рисунок 4.2.3) (тут і надалі позначення дорожньої розмітки та ДЗ наведені у відповідності до Правил дорожнього руху Німеччини (Straßenverkehrs-Ordnung (StVO) [22]).



Рисунок 4.2.3 – Конструктивні параметри та облаштування захисних смуг (Джерело: [21])

Якщо ширина проїзду, що залишається, є меншою ніж 5,50 м, то осьова лінія ПЧ не наноситься. Цільове призначення захисної смуги слід підкреслити за допомогою нанесення на покриття піктограми «Велосипед». ДЗ для позначення захисної смуги не застосовуються.

Стандартна ширина захисної смуги становить 1,50 м, мінімальна - 1,25 м. Ширина ПЧ, яка залишається між захисними смугами, має складати не менш ніж 4,50 м, а при високій інтенсивності руху – не менш ніж 5,00 м (тобто для улаштування захисних смуг з обох боків ПЧ вона має бути шириною не менш ніж 7,00 м (без парковки)).

За наявності острівців безпеки чи центральних розділових смуг захисні смуги можуть бути прокладені, якщо між ними та вказаними елементами поперечного профілю залишається хоча би 2,25 м вільного простору (при захисній смузі шириною 1,50 м це відповідає загальній ширині ПЧ 3,75 м). На вулицях із чотирма смугами захисні смуги влаштовують, якщо ширина ПЧ для руху в одному напрямку складає мінімум 6,50 м.

Велосипедні смуги (велосмуги) – це спеціальні смуги для одностороннього руху велотранспорту, які позначають ДЗ 237 «Велодоріжка» (рисунок 4.2.4). Рух автотранспорту по велосмугах заборонений, однак їх дозволено перетинати для виконання поворотів, а також для заїзду чи виїзду з парковок.



Рисунок 4.2.4 – Конструктивні параметри та облаштування велосипедних смуг (Джерело: [21])

Велосмуги відділяють від ПЧ (смуги для стоянки) за допомогою розмітки 295 (суцільної лінії шириною 0,25 м). Там, де цю лінію можна перетинати (наприклад, у зонах перехрещень зі смугами руху) використовується пунктирна лінія із співвідношенням 0,5 м / 0,5 м; на примиканнях другорядних вулиць та виїздів з прилеглої території – пунктирна розмітка (0,50 м / 0,25 м). У проблемних зонах велосмугу рекомендовано зафарбувати (як правило, у червоний колір).

Для підкреслення цільового призначення велосмуги зазвичай достатньо нанести на покриття піктограму «Велосипед»; також можливе маркування символом ДЗ «Велодоріжка».

Велосмуги, включно з лініями ДР (0,25 м), повинні мати ширину 1,85 м (може бути збільшена до 2,00 м). Суміжні смуги руху для АТЗ повинні мати ширину принаймні 2,75 м (стандартна ширина таких смуг складає 3,25 м).

Між велосмугами і суміжними смугами для стоянки завжди має бути виділена розділова смуга безпеки, що також відокремлена за допомогою лінії розмітки шириною 0,25 м. З метою безпеки руху велосмуги не повинні прокладатись праворуч від паркувальних місць.

Велосипедні доріжки (велодоріжки) є окремими конструктивними елементами поперечного профілю вулиці, що відділені від ПЧ за допомогою бордюрів чи смуг зелених насаджень (рисунок 4.2.5). Якщо користування велодоріжками є обов'язковим, то їх потрібно позначати ДЗ 237 «Велодоріжка» або 241 «Розділена вело-пішохідна доріжка».

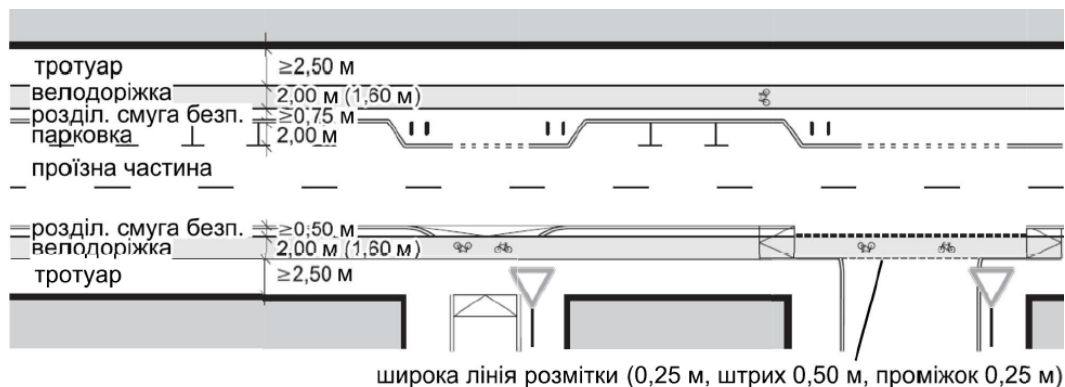


Рисунок 4.2.5 – Конструктивні параметри та облаштування велосипедних доріжок (Джерело: [21])

Для покращення умов ідентифікації бажано, щоб велодоріжки у межах одного населеного пункту мали покриття з однакового матеріалу та одного кольору. У проблемних зонах (наприклад, на примиканнях другорядних вулиць чи на виїздах з прилеглих територій) рекомендовано додатково застосовувати піктограми «Велосипед» або символ знаку 237 «Велодоріжка».

Стандартна ширина велодоріжок складає 2,00 м (1,6 м – при незначному велорусі); за потреби вона може бути збільшена. Ширина пішохідного тротуару, що знаходиться біля велодоріжки, має становити не менш ніж 2,30 м.

Між велодоріжкою та суміжними смугами ПЧ слід забезпечити розділову смугу шириною не менш ніж 0,5 м, яка повинна конструктивно чітко відрізнитися від велодоріжки, але з можливістю її перетину (переїзду) на тому ж рівні.

Для позначення пріоритету руху велотранспорту на виїздах з прилеглих територій, велодоріжки та пішохідні тротуари слід прокладати, не змінюючи їх форми та вигляду. Велодоріжки, які недостатньо видно, можна додатково позначити ДЗ, іншим кольором поверхні та піктограмою «Велосипед». Таке позначення особливо необхідне в потенційно конфліктних місцях (наприклад, на виїзді з АЗС, автостоянок чи парковок). Для поліпшення умов видимості велодоріжки у таких випадках слід обмежити стоянку автомобілів.

Також для підвищення БР велотранспорту та пішоходів в межах розділової смуги на виїздах з прилеглих територій влаштовують пандуси чи пониження бортового каменю.

Ділянки початку і закінчення велодоріжки облаштовують із застосування перехідних ділянок. Так, наприклад, після закінчення відокремленої велодоріжки велосипедний рух в межах перехідної ділянки відокремлюється від автомобільного руху (ПЧ) за допомогою острівця безпеки чи бортового каменю. Довжина такої перехідної ділянки складає від 10 м до 20 м, і вона має бути облаштована як велосмуга чи захисна смуга (рисунок 4.2.6).

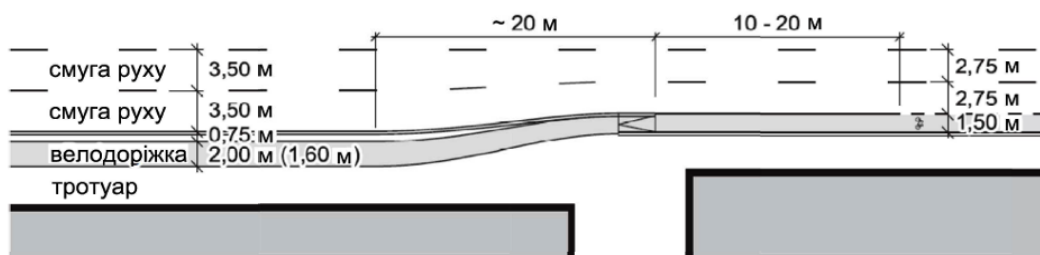


Рисунок 4.2.6 – Принципова схема закінчення відокремленої велодоріжки
(Джерело: [21])

Велодоріжки з двостороннім рухом найчастіше влаштовують на вулицях з центральними розділовими смугами чи зі значною інтенсивністю автомобільного руху на місцевих (бокових) проїздах, а також на вулицях зі складнощами здійснення їх перетину. Зауважимо, що така **організація велоруху вважається небажаною**, а тому її застосування можливе лише як виняток після відповідного обґрунтування.

Ширина таких доріжок має бути достатньою для безпечного зустрічного роз'їзду велосипедистів (рекомендується ширина 2,50 м при прокладенні з обох боків вулиці та 3,00 м – при прокладенні з одного боку вулиці).

По всій довжині такої доріжки не повинно бути багато перехресть, примикань другорядних вулиць чи під'їздів до територій з інтенсивним транспортним рухом. Такі велодоріжки позначають знаками 237 «Велодоріжка», 240 «Спільна пішохідно-велосипедна доріжка», чи 241 «Розділена велосипедно-пішохідна доріжка» з кожного боку.

Позначення межі між велодоріжками та тротуарами зазвичай здійснюється на одному рівні за допомогою т.з. **обмежувальної смуги**, яка має запобігти несвідомому виходу сліпих пішоходів та людей з проблемами зору на ділянку руху велотранспорту. Ширина такої смуги має становити принаймні 0,30 м (рисунок 4.2.7), і вона повинна мати наступні властивості:

- чітку на дотик структуру покриття (наприклад, тактильно контрастний ряд невеликої бруківки, спеціальні наземні індикатори руху людини або зміна покриття, яку можна легко розпізнати);
- можливість візуального розпізнавання (наприклад, різна яскравість поверхні за рахунок іншого кольору покриття чи нанесення розмітки з ефектом світлоповертання);

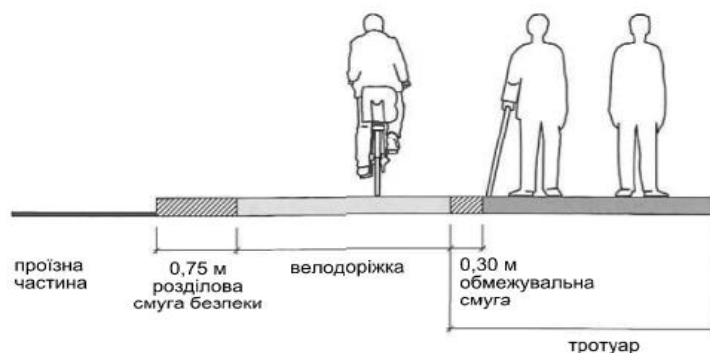


Рисунок 4.2.7 – Обмежувальна смуга між велодоріжкою та тротуаром
(Джерело: [21])

- стан покриття має забезпечувати легкість пересування як велосипедів, так і пішоходів, а також виключати можливість спотикання останніх.

На **велосипедних переїздах** в зоні перехресть (примикань) другорядних вулиць, а також виїздів з прилеглих територій, для попередження водіїв ТЗ, які мають дати дорогу велосипедистам, встановлюється ДЗ 1000-32 «Велосипедний рух зліва та справа» (символ «Велосипед», стрілки в обидва напрямки). Крім того, над основними знаками пріоритету 205 «Дати дорогу» (206 «Проїзд без зупинки заборонено») слід розташувати табличку зі додатковою інформацією (стрілки в обидва боки) (рисунок 4.2.8).

В свою чергу, **зона такого переїзду** виділяється контрастним фарбуванням покриття та позначається нанесенням ліній переривчастої розмітки шириною 0,25 м і піктограм «Велосипед» зі стрілками в обидва боки. Дієвим засобом для підвищення уваги водіїв АТЗ в таких місця також є підняття в зоні такого переїзду рівня велодоріжки над рівнем ПЧ.



Рисунок 4.2.8 – Велосипедний переїзд на примиканні (Джерело: [21])

Використання **спільної вело-пішохідної доріжки** є виправданим лише там, де обидва види руху є не надто інтенсивними (рисунок 4.2.9).

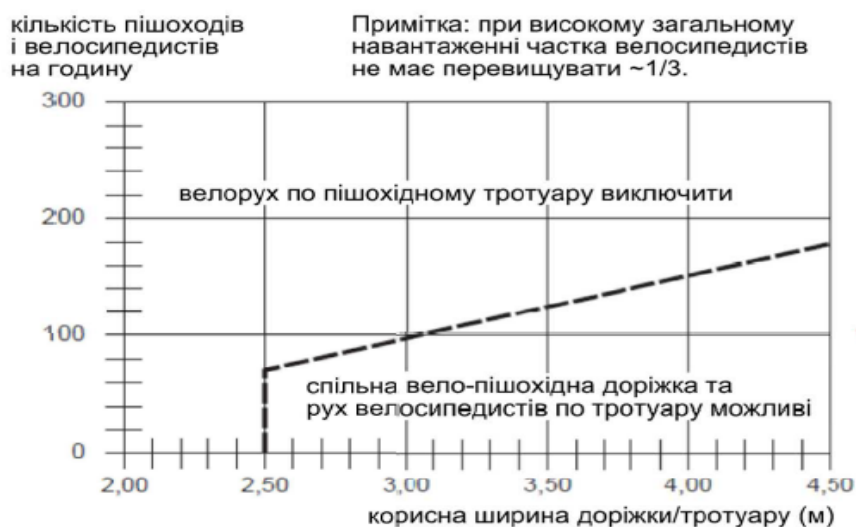


Рисунок 4.2.9 – Показники, що використовуються для вирішення питання щодо організації спільної вело-пішохідної доріжки (Джерело: [21])

Спільний рух велосипедистів та пішоходів можливий за двома варіантами:

- користування доріжкою для них є обов'язковим; вона позначається знаком 240 «Спільна вело-пішохідна доріжка» та не має розділення за допомогою розмітки чи інших елементів;

- велосипедист має вибір між використанням тротуару і пересуванням по краю ПЧ; дозвіл на користування тротуару позначають знаком 239 «Пішохідна доріжка» із табличкою 1022-10 «Велосипедистам дозволено».

З іншого боку, **спільний рух велосипедистів та пішоходів є недоцільним:**

- на вулицях з інтенсивною торгівельною забудовою;
- при надмірному використанні бокових просторів вулиці пішоходами, які вимагають особливого захисту (наприклад, людьми з інвалідністю чи дітьми);
- на крутих спусках (з ухилом $>3\%$),
- при безпосередній близькості до тротуарів будинків з мінімальною шириною під'їздів;
- при наявності численних примикань другорядних вулиць чи виїздів з прилеглих територій;
- при частому використанні тротуару для автобусних чи трамвайних зупинок, що не мають виділених зон очікування для пішоходів.

Загальні вимоги щодо організації велосипедного руху на перехрестях

При вирішенні питань УДР в Німеччині розрізняють чотири **види перехрестя** [21]:

- нерегульовані рівнозначних вулиць, пріоритет визначається за принципом «перевагу на рух має той, хто праворуч»;
- нерегульовані нерівнозначних вулиць, пріоритет визначається ДЗ;
- регульовані, черговість проїзду визначається сигналами світлофорів;
- з кільцевим рухом.

Основні вимоги до перехрестя з точки зору ефективності організації велосипедного руху:

- забезпечення належної взаємної видимості між велосипедистами та іншими учасниками руху;
- відкритість та безпечність проїзду (відсутність малих радіусів, високих бордюрів та несподіваних поворотів, а також будь-яких перешкод чи сторонніх предметів на ПЧ)
- чітке та однозначне визначення для всіх учасників руху напрямку (траєкторії) велоруху через перехрестя та його світлофорно-технічне забезпечення, у тому числі - щодо пріоритетності руху тих чи інших ТЗ;
- наявність належних зон очікування для велосипедистів, в яких вони б не заважали ТП та іншим учасникам руху;
- врахування підвищеної імовірності виникнення конфліктних ситуацій між велосипедистами, що рухаються прямо, та ТЗ, який здійснюють поворот праворуч (ліворуч) із зустрічного напрямку.

На нерегульованих перехрестях нерівнозначних вулиць проблеми зі сприйняттям виникають, коли пріоритет руху велосипедистів не окреслений чи їх рух значно ускладнений (наприклад, коли відсутня можливість повороту ліворуч з відокремленої велосипедної доріжки). Через це варто уникати наступних ситуацій і відповідних схем руху:

- коли для перешикування у крайню ліву смугу (ряд) велосипедистам необхідно перетнути більш ніж дві смуги руху АТЗ;
- коли смуга для руху АТЗ, що переходить у відокремлену смугу для правого повороту, змушує велосипедистів небезпечно перешиковуватись у лівий ряд;
- коли велосмуга чи велодоріжка закінчується у вузькому місці перехрестя.

На регульованих перехрестях структура СФР в загальному випадку теж повинна сприяти кращому сприйняттю його велосипедистами, а тому:

- час, протягом якого велосипедистам дозволяється проїжджати через перехрестя, не повинен бути значно меншим, ніж час проїзду для АТЗ, що рухаються паралельно,
- час очікування дозвільного сигналу для велосипедистів має бути якомога меншим;
- при перетині вулиць з відокремленими ПЧ тривалість вказаного дозвільного сигналу має забезпечувати можливість їх послідовного перетину без проміжних зупинок.

У всіх випадках (на велодоріжках, велосмугах та спільних вело-пішохідних доріжках) **місця велопереїздів на перехрестях** необхідно позначати за допомогою дорожньої розмітки - двох широких (0,25 м) пунктирних ліній (штрих 0,5 м, розрив 0,25 м) (рисунок 4.2.8). Ширина такого переїзду має бути не меншою, ніж ширина відповідного велошляху (зазвичай – 2,0 м).

Велосипедний рух на нерегульованих перехрестях

На нерегульованих перехрестях рівнозначних вулиць рекомендується організувати велорух по ПЧ, а тому, зазвичай, додаткових ДЗ чи розмітки не потрібно. Якщо ж таке управління є новим чи потрібно особливо акцентувати увагу водіїв (наприклад, при впровадженні одностороннього руху, коли слід особливо зважати на велорух справа), можна тимчасово встановити знаки 102 «Перехрестя чи примикання доріг, де перевагу має той, хто справа» та 1000-32 «Велосипедний рух зліва та справа».

Особливості **облаштування нерегульованих перехресть нерівнозначних вулиць** при організації на них велосипедного руху наведені в таблиці 4.2.3 (для управління правим поворотом велосипедистів особливі заходи зазвичай не потрібні).

При організації лівоповоротного велоруку на перехрестях з відокремленими смугами чи особливим дозволом повороту ліворуч для велосипедистів розрізняють (рисунок 4.2.10):

1. **Поворот ліворуч в один прийом** (велосипедисти, які повертають ліворуч, перелаштовуються на загальну смугу для повороту ліворуч, тобто у зону руху АТЗ, або ще перед перехрестям перешиковуюються на спеціально виділену для них велосмугу для повороту ліворуч). Такий варіант є доцільним, якщо при обмеженні швидкості 50 км/год на ПЧ з двома смугами інтенсивність руху АТЗ у напрямку руху велосипедистів не перевищує 800 авт/год.

Таблиця 4.2.3 – Елементи організації руху велосипедистів на нерегульованих перехрестях нерівнозначних вулиць [21]

	Прямолінійний рух	Поворот ліворуч
Велорух здійснюється уздовж головної вулиці	<ol style="list-style-type: none"> 1. На примиканнях другорядної вулиці до головної велосмуги необхідно позначити як велопереїзди. 2. На перехрестях та виїздах з головної вулиці на другорядну нанести захисні смуги. 3. За наявності спільних вело-пішохідних доріжок необхідно: <ul style="list-style-type: none"> - наблизити велодоріжки до ПЧ; - забезпечити постійне перебування велосипедистів у зоні видимості водіїв; - позначити велопереїзди через перехрестя; - за потреби дещо підняти переїзди вело- чи спільних вело-пішохідних доріжок; - перевести велодоріжки у захисні або велосмуги 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Має бути сформована зона очікування для поворотів ліворуч у два прийоми. 2. Виділена велосипедна смуга для такого повороту. 3. Організовані розділені центральні острівці як місця очікування для велотранспорту, що повертає ліворуч
Велорух здійснюється уздовж другорядної вулиці	<ol style="list-style-type: none"> 1. Схема руху передбачає поворот ліворуч (зазвичай - за один прийом). 2. Центральна розділова смуга (розділені острівці безпеки) визначається як допоміжний фактор при перетині головної вулиці. 3. Пріоритет у русі для велотранспорту відсутній (велопереїзди розміткою не позначаються) 	

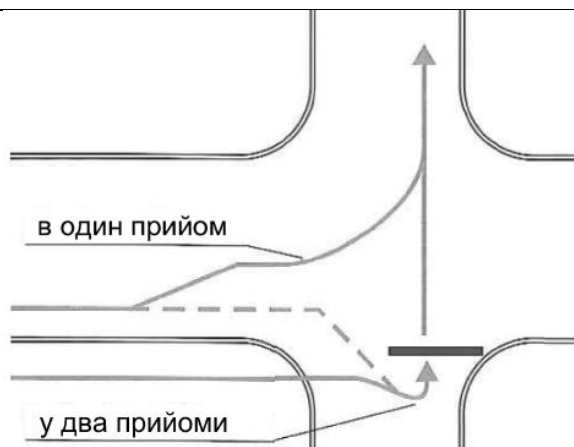


Рисунок 4.2.10 – Варіанти організації лівоповоротного велоруку на нерегульованих перехрестях (Джерело: [21])

2. **Поворот ліворуч у два прийоми** (велосипедисти спочатку переїжджають перехрестя з деяким зміщенням праворуч, а потім, повернувшись ліворуч, перетинають вулицю у потрібному напрямку).

Якщо відокремлена смуга для повороту АТЗ ліворуч відсутня, для поліпшення зручності **лівоповоротного велоруху за один прийом** може облаштуватися центральна розділова смуга з розривом (острівці безпеки) (рисунок 4.2.11). У цьому випадку зона між двома частинами розділової смуги є безпечною ділянкою для очікування прийнятного інтервалу (розриву) у зустрічному русі як для АТЗ, так і для велосипедистів.

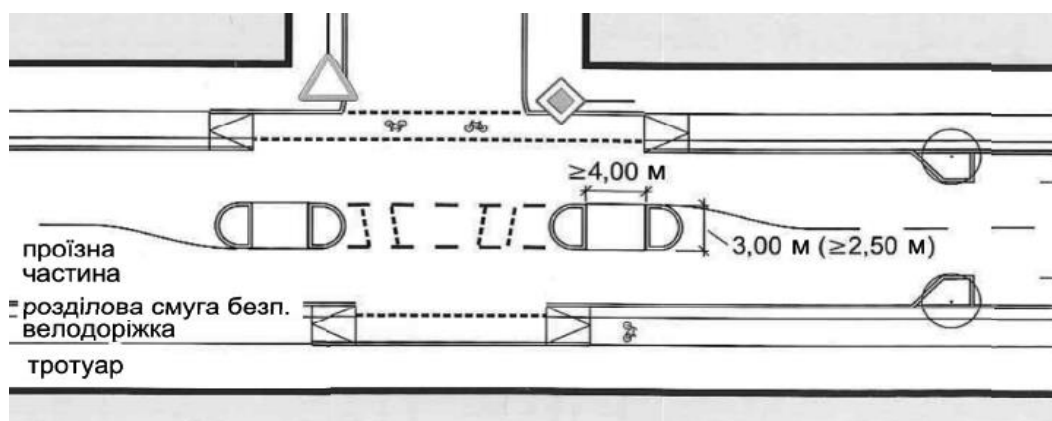


Рисунок 4.2.11 – Центральна розділова смуга з розривом (острівці безпеки) та зоною очікування для велосипедистів, які повертають ліворуч (Джерело: [21])

Іншими варіантами використання такої розділової смуги з розривом може бути облаштування окремої лівоповоротної смуги шириною щонайменше 1,5 м лише для велосипедистів чи двох суміжних таких смуг – окремо для АТЗ та велосипедистів (рисунок 4.2.12).

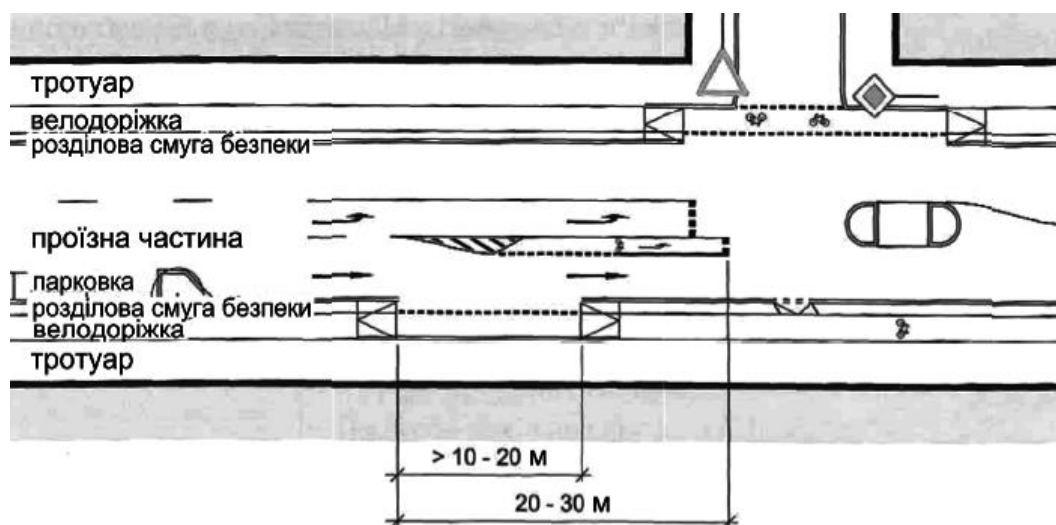


Рисунок 4.2.12 – Суміжні смуги для АТЗ та велосипедистів, які повертають ліворуч, перед перехрестям (Джерело: [21])

При організації **лівоповоротного велоруку у два прийоми** його траєкторія в межах зони перехрестя дещо зміщується праворуч (рисунок 4.2.13). Зону очікування на ПЧ в такому випадку необхідно виділяти (позначати) зліва від велопереїзду (якщо на другорядних під'їздах до перехрестя також наявна велоінфраструктура, зони очікування будуть розташовані уздовж неї). Якщо ж площі достатньо, для підвищення безпеки можна також облаштувати додатковий острівець безпеки.

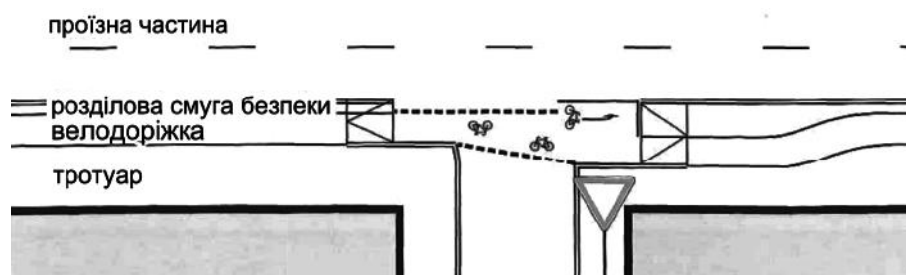


Рисунок 4.2.13 – Організація лівоповоротного руху на перехрестях у два прийоми (Джерело: [21])

При **виїзді велосипедистів на нерегульоване перехрестя з другорядної вулиці** потенційно конфліктним є передусім перетин головної вулиці. На перехрестях значної площі такий перетин можна полегшити завдяки острівцям безпеки (рисунок 4.2.11, 4.2.12). Залежно від ситуації можна застосувати острівець безпеки, поєднання острівця зі смугою для повороту ліворуч або ж розділову смугу з розривом. Острівці безпеки також полегшують умови переходу через ПЧ пішоходам.

Велосипедний рух на регульованих перехрестях

Планування велоінфраструктури та СФР велосипедного руху завжди має здійснюватись комплексно з урахуванням зрозумілих та загальноприйнятих принципів УДР. Особливості **облаштування регульованих перехресть** при організації на них велосипедного руху наведені в таблиці 4.2.4 (для управління правим поворотом велосипедистів особливі заходи зазвичай не потрібні).

Як свідчить аналіз ДТП, на регульованих перехрестях найчастіше мають місце наїзди на велосипедистів тими АТЗ, що рухаються по тій же вулиці та повертають ліворуч або праворуч, причому винними частіше визнають водіїв через їх неуважність щодо пріоритетності проїзду. Тому для зменшення ризику виникнення аварійних ситуацій вулиці з велоруком повинні відповідати єдиним **вимогам планування та управління:**

Таблиця 4.2.4 – Елементи організації руху велосипедистів
на регульованих перехрестях [21]

	Прямолінійний рух	Поворот ліворуч
Головні вулиці (підходи з більшою тривалістю дозвільного сигналу)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Облаштування захисних смуг, велосипедних смуг чи доріжок для проїзду повз АТЗ, що зупинились в очікуванні дозвільного сигналу. 2. Продовження захисної смуги у межах перехрестя. 3. Маркування велопереїздів по ходу велосипедних смуг і доріжок; 4. Нанесення велосипедних стоп-ліній перед автомобільними. 5. Відмова від окремої смуги для повороту АТЗ праворуч 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Облаштування зони очікування для здійснення повороту у два прийоми. 2. Облаштування велосмути для повороту перед перехрестям (рисунок 2.10) 3. Облаштування захисних велосмуг на автомобільних смугах для лівого повороту 4. Облаштування додаткового місця для зупинки велосипедів перед світлофором
Другорядні вулиці (підходи)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Виконання повороту ліворуч зазвичай у один прийом. 2. Облаштування захисних або велосипедних смуг для проїзду повз АТЗ 3. Облаштування розширених велосмуг для очікування 	

- стоп-лінії для велосипедистів повинні знаходитись на відстані 3,0-5,0 м перед стоп-лініями для АТЗ, що рухається у тому ж напрямку;
- на другорядних підходах необхідно створити розширені велосмути (зони) для очікування;
- має бути забезпечена належна взаємна видимість між велосипедистами та водіями АТЗ на захисних та велосипедних смугах, а також на велопереїздах поблизу перехресть;
- поверхню велопереїздів на під'їздах до перехрестя необхідно пофарбувати;
- радіуси повороту на траєкторіях пересування АТЗ мають бути мінімізовані до допустимих значень (з урахуванням їх габаритів);
- має бути забезпечена така різниця між часом очікування для велосипедистів та автомобілістів, щоб перші перетинали потенційно конфліктну зону раніше за других;
- - необхідно забезпечити попередження ТЗ, що повертають, за допомогою жовтого миготливого сигналу світлофора (наприклад, на значно зміщених велопереїздах чи при наявності двостороннього велоруку).

Розширені велосмути (зони) для очікування облаштовують шляхом нанесення стоп-лінії на всю ширину ПЧ данго підходу. Місце, де мають зупинятись АТЗ, позначають іншою стоп-лінією (автомобільною), яку наносять перед велосипедною. Довжина такої смуги (зони) має становити 3,0÷5,0 м, а піктограми «Велосипед» повинні чітко відображати її призначення (рисунок 4.2.14).

Такі смуги (зони) необхідні, насамперед, на перехрестях зі значною тривалістю заборонного сигналу, коли слід забезпечити можливість користуватись цією смугою (зупинитись на ній) якомога більшої кількості велосипедистів.

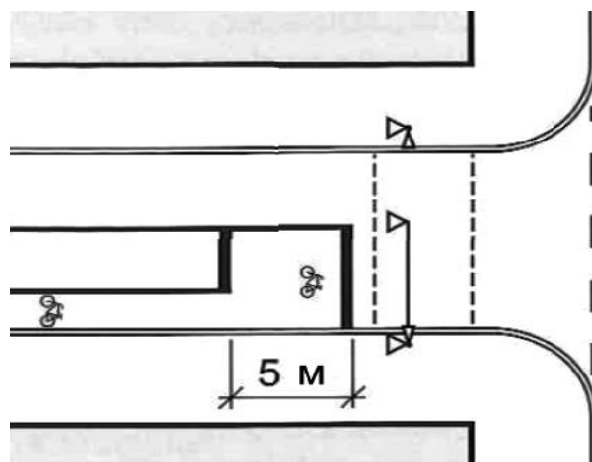


Рисунок 4.2.14 – Велосмуга з розширеною зоною очікування для велосипедистів (Джерело [21])

З іншого боку, завдяки розділенню АТЗ, що повертають праворуч, та велосипедистів, що рухаються прямо або повертають ліворуч, також можна досягти певного підвищення пропускної здатності перехрестя за рахунок поліпшення умов правоповоротного руху АТЗ. Коли для велосипедистів існує значна потенційна небезпека (наприклад, при великій інтенсивності руху АТ чи наявності значного поворотного потоку вантажівок), ділянку велосмуги в зоні для очікування повністю відокремлюють від ПЧ.

На регульованих перехрестях велосипедисти можуть мати право **вільного (тобто без СФР) повороту праворуч**, якщо таке маневрування не заважатиме й не наражатиме на небезпеку пішоходів. Якщо велопереїзд зміщено вбік від ПЧ, то правоповоротний велорух взагалі можна відокремити (рисунок 4.2.15). При значній інтенсивності руху велосипедистів для поліпшення умов руху ТП рекомендується розширити зону очікування та розділити напрямки.

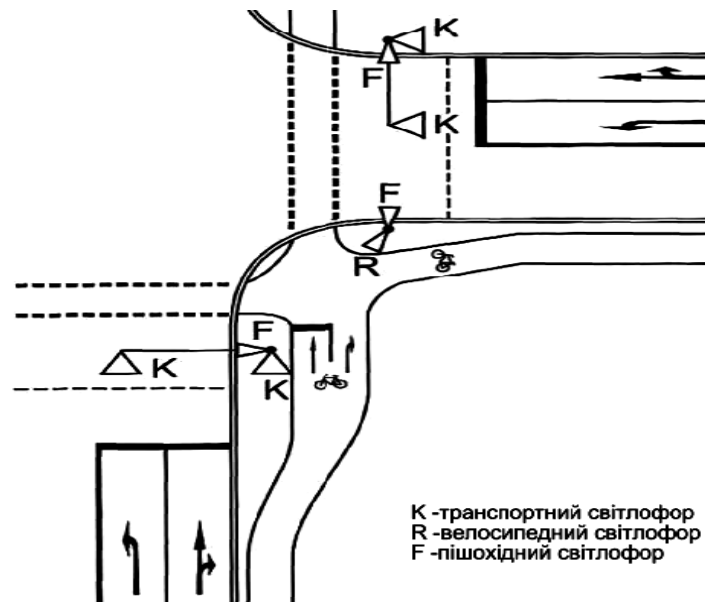


Рисунок 4.2.15 – Можливість вільного повороту праворуч для велосипедистів (з окремим СФР прямолінійного велоруху) (Джерело: [21])

Особливості організації та облаштування регульованих перехресть в залежності від варіантів СФР лівоповоротного велоруху наведені в таблиці 4.2.5.

Таблиця 4.2.5 – Організація і облаштування перехресть при СФР лівоповоротного велоруху [21]

Загальні умови	Особливості застосування	Форми організації велоруху	Спосіб регулювання
Поворот ліворуч в один прийом, з можливістю безперешкодного перешиккування перед перехрестям, з відповідною розміткою або без неї	1. Перетин не більш ніж двох смуг ПЧ при перешиккуванні 2. Швидкість автомобілів $V_{85} \leq 50$ км/год	1. Змішаний рух, захисні смуги або велосмуги, в окремих випадках – у поєднанні зі смугою для лівого повороту АТЗ або з розширеними вело-смугами для очікування. 2. Велодоріжки перед перехрестям при можливості переходять у велосипедні або захисні смуги	СФР велоруху спільне з регулюванням руху АТЗ
Поворот ліворуч в один прийом із захищеним перешиккуванням з використанням велосипедного шлюзу	1. Велика інтенсивність руху АТ 2. Значна інтенсивність лівоповоротного велоруху	Велосипедні доріжки, велосипедні смуги	Окреме СФР для велосипедистів, яких спрямовують із суміжної велосипедної доріжки на ПЧ

Поворот ліворуч у два прийоми у межах перехрестя	1. Велика інтенсивність руху АТ 2. Незначна частка лівоповоротного велоруху	Можливі всі форми велоруху	Окреме СФР велоруху на першому етапі (заїзд у зону очікування). СФР на другому етапі (перетин перехрестя) – сумісно з управлінням пішохідним рухом, або ж окремо для велосипедистів
Поворот ліворуч у два прийоми поза перехрестям	Можливий завжди	Жодної спеціальної форми велоруху: велосипедисти мають повертати і перетинати ПЧ по пішохідних переходах	Велорух сумісно з рухом пішоходів
Діагональний перетин зони перехрестя	Рекомендовані на ділянках переходу з двох- на односторонній велорух	Велосипедні доріжки з двостороннім рухом і будь-які інші форми двостороннього руху	Для велосипедистів, які перетинають перехрестя, в циклі СФР необхідна окрема фаза («всім зелений»)

При здійсненні повороту ліворуч в один прийом велосипедисти перед перехрестям перешиковуються на загальну (автомобільну) чи окрему велосмугу, яка спеціально позначена. За обмежених умов на загальній смузі для повороту ТЗ ліворуч також може бути позначена захисна смуга для велоруху (рисунок 4.2.16).

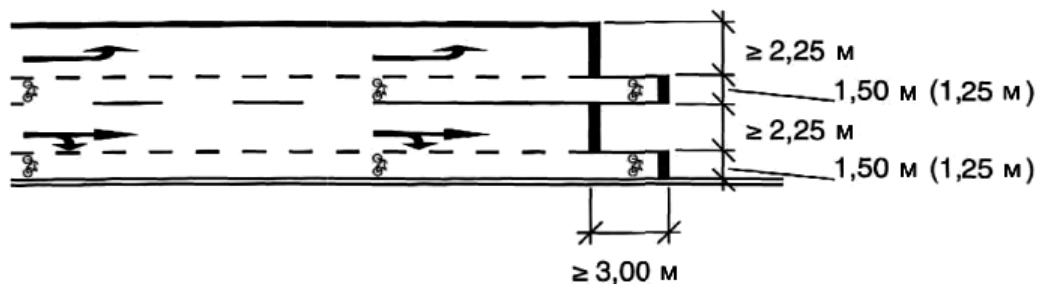


Рисунок 4.2.16 – Захисні смуги для руху велосипедистів (Джерело: [21])

При лівому повороті в один прийом із захищеним перешикуванням з використанням велосипедного шлюзу на під'їзді до перехрестя має бути встановлено додатковий (стримуючий) світлофор (**R1**), під «захистом» якого велосипедисти будуть перешикуватись на смуги для свого подальшого руху (рисунок 4.2.17).

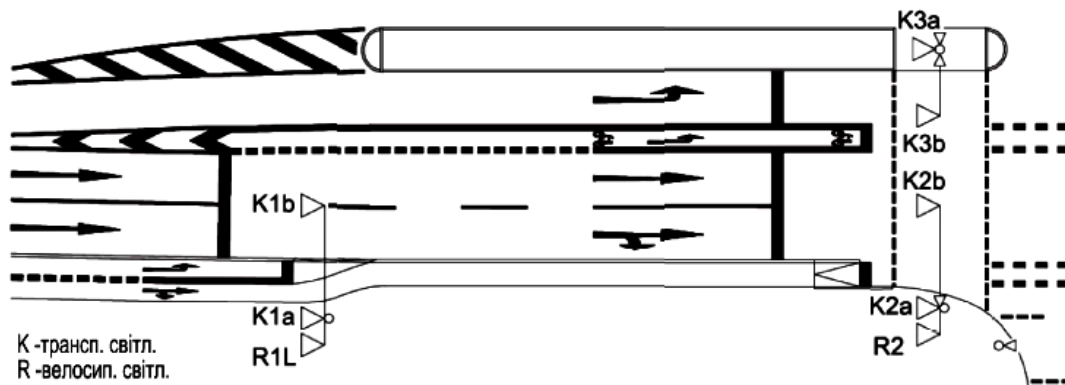


Рисунок 4.2.17 – Велосипедний шлюз (Джерело: [21])

На практиці застосування таких шлюзів є **доцільним**, коли:

- велодоріжка закінчується на під'їзді до перехрестя;
- перш ніж повернути ліворуч, велосипедистам необхідно перетнути дві чи більше смуги ПЧ;
- неможливо створити достатньо великі зони очікування для велосипедистів, щоб ті мали змогу повертати ліворуч у два прийоми;
- на перехресті мають місце інтенсивні лівоповоротні ТП;
- має місце інтенсивний правоповоротній ТП чи значна частка вантажівок у ньому (тобто існує підвищена загроза для велосипедистів, якщо вони будуть здійснювати лівий поворот у два прийоми);
- є можливість поєднання (координації) зі СФР на попередньому перехресті.

Зміщення часу ввімкнення дозвільного сигналу на першому (стримуючому) (**К1**) та другому (основному) (**К2**) світлофорах для АТЗ має бути таким, щоб автомобілі в'їжджали у зону велосипедного шлюзу з якомога меншою швидкістю. Для підвищення пропускнуої здатності може виникнути потреба у завчасному ввімкненні дозвільного сигналу на світлофорі **К1** (насамперед - коли кількість смуг перед цим світлофором, є меншою від їхньої кількості на світлофорі **К2**). Крім того, моменти ввімкнення та тривалість дозвільних сигналів на цих світлофорах має бути узгоджена таким чином, щоб на момент закінчення дозвільного сигналу на світлофорі **К2** на смугах, відведених спеціально для велосипедистів, не залишалось АТЗ.

При **повороті ліворуч у два прийоми у межах перехрестя** велосипедисти спочатку перетинають вулицю, що примикає справа, а потім перетинають вулицю, з якої вони мали намір повернути наліво, разом з потоком інших ТЗ (рисунок 4.2.18).

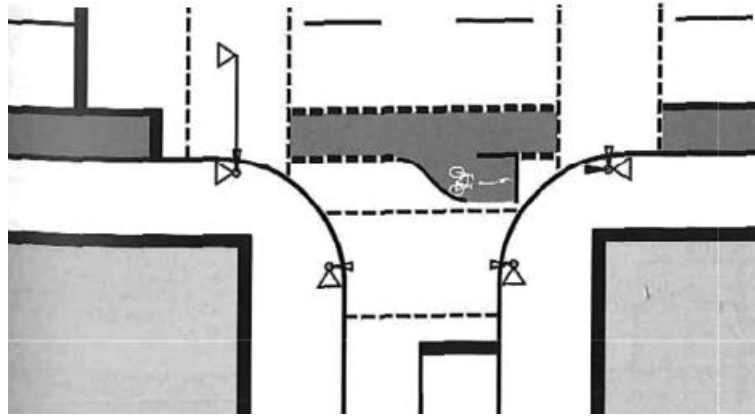


Рисунок 4.2.18 – Поворот велосипедистів ліворуч у два прийоми у межах перехрестя (Джерело: [21])

Такий спосіб вимагає:

- можливості для велосипедистів безпечно зупинитися під час очікування (відповідним чином позначені зони очікування є доцільними на особливо великих перехрестях);
- особливого підходу до режиму СФР (зокрема – щодо чергування фаз);
- на великих перехрестях – належного якісного інформування всіх учасників руху щодо такого способу повороту велосипедистів ліворуч.

Також при повороті велосипедистів ліворуч у два прийоми у межах перехрестя необхідно з'ясувати, **чи можна регулювати такий їх рух спільно з пішохідним**. Необхідними умовами для цього є:

- добра видимість сигналів світлофорів для велосипедистів та пішоходів у зоні очікування,
- наявність необхідного часового інтервалу між моментом ввімкнення дозвільного сигналу для переходу пішоходів та моментом ввімкнення аналогічного сигналу для проїзду велосипедистів, які повертають на тому ж етапі;
- при наявності центральної розділової смуги – безпечна можливість одночасного використання велосипедистами та пішоходами «своїх» переходів.

За відсутності таких передумов рекомендуються спеціальні світлофорні сигнали для велосипедистів з послідовністю «зелене (світло) – червоне -зелене». Для руху велосипедистів, залежно від його інтенсивності, дозвільний сигнал (зелене світло) повинен починатись на 2÷4 с раніше, ніж для потоку АТЗ, які рухаються позаду у тому ж напрямку. Також тривалість цього сигналу має забезпечувати повне звільнення зони очікування.

При інтенсивних потоках велотранспорту, що повертає ліворуч у два прийоми, варто прагнути послідовності дозвільних сигналів СФР на обох етапах

проїзду велосипедистів. Цього можна досягнути, наприклад, збільшенням тривалості дозвільного сигналу для АТЗ, що повертають ліворуч з того ж напрямку, при одночасному збільшенні часу дозволеного використання велосипедистами переїзду на другому етапі їх маневрування.

Форми світлофорного регулювання велосипедного руху

Розрізняють три основні **форми СФР руху велосипедистів** [21]:

- спільне з управлінням рухом АТЗ;
- спеціальне для велоруку;
- спільне з управлінням рухом пішоходів.

СФР велоруку спільно з АТ використовується, коли велосипедисти рухаються ПЧ (у змішаному режимі чи по захисних смугах), велосмугами або велодоріжками з незміщеними велопереїздами (рисунок 4.2.19).

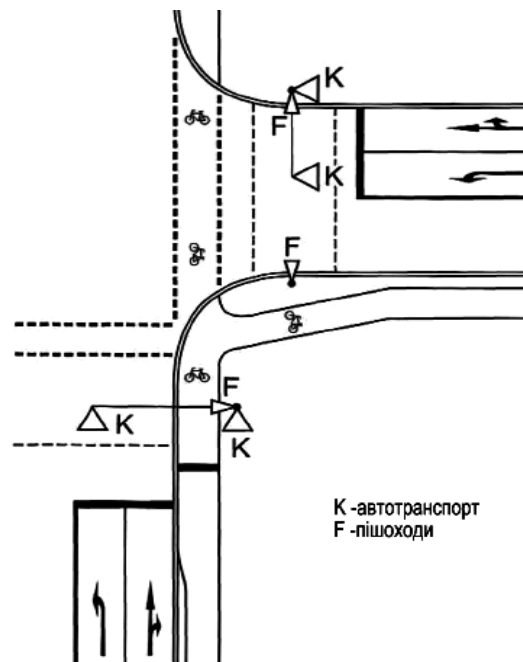


Рисунок 4.2.19 – СФР велосипедного руху, спільне з управлінням рухом АТЗ
(Джерело: [21])

При визначенні параметрів такого регулювання особливу увагу слід звертати на збільшення співвідношення «час-простір» для велосипедистів порівняно з аналогічним показником для АТЗ. Для привернення уваги щодо саме такої форми СФР на покритті велоінфраструктури (смугах, доріжках) необхідно нанести стоп-лінію.

Спеціальне СФР також застосовується, коли рух велосипедистів здійснюється велосмугами або велодоріжками з незміщеними велопереїздами. Особливо доцільним воно може бути, якщо:

- велосипедисти повинні рухатися в окремій фазі або отримати перевагу в часі, щоб потрапити у потенційно конфліктну зону раніше за АТЗ;
- необхідно уникнути надмірних скупчень велосипедистів (наприклад, коли час проїзду ними зони перехрестя може бути більшим, ніж час проїзду попутного автотранспорту) або ж рух автотранспорту має здійснюватися так, щоб уникнути взаємодії з рухом велосипедистів;
- час очікування для велосипедистів можна скоротити, надавши їм право проїзду перехрестя у потрібному напрямку двічі протягом одного циклу СФР;
- на перехресті передбачений безконфліктний велосипедний рух у всіх напрямках (діагональний перетин) протягом окремої фази СФР («всім зелений»);
- прямолінійний потік велосипедистів може бути відокремлений від інтенсивного поворотного руху АТЗ за допомогою зміщення у часі;
- проїзд велосипедистів може закінчуватись раніше, ніж проїзд попутного автотранспорту (наприклад, на особливо великих перехрестях).

Спеціальне СФР здійснюється з використанням трисекційних світлофорів або двосекційних світлофорів для велосипедистів, що повертають праворуч (рисунок 4.2.20).

Спільне з управлінням рухом пішоходів СФР велосипедного руху організовують уздовж вело-пішохідних доріжок або доріжок для пішоходів з табличкою 1022-10 «Велосипедистам дозволено» та спільним переходом/переїздом. При цьому використовуються світлофори, сигнали (секції) яких мають піктограми пішохода та велосипедиста (рисунок 4.2.21).

Аналогічно здійснюється спільне регулювання на виділених велодоріжках із розділеними переходами/переїздами. Стоп-лінія для велоруху у таких випадках не передбачена, тому на перехресті велосипедисти можуть повертати праворуч, пропускаючи пішоходів.

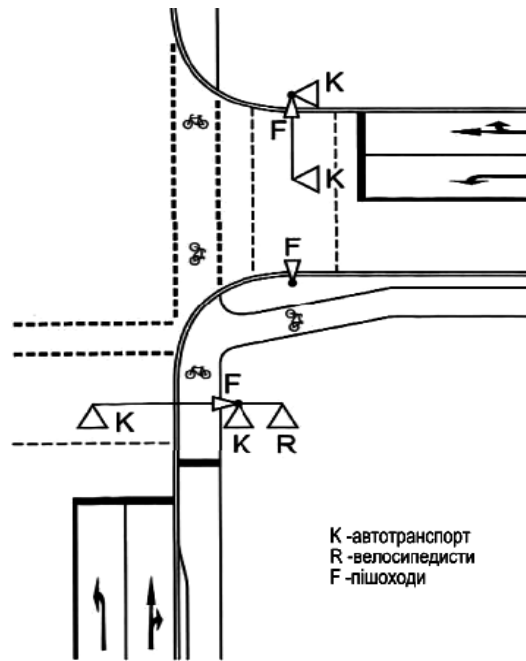


Рисунок 4.2.20 – Спеціальне СФР велосипедного руху (Джерело: [21])

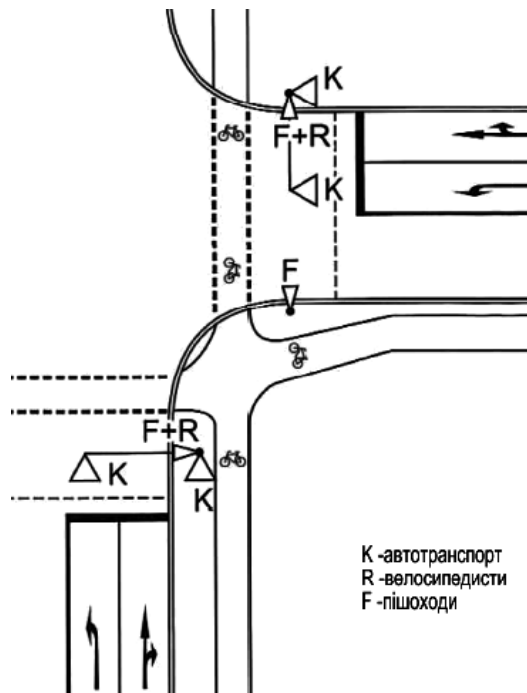


Рисунок 4.2.21 – СФР велосипедного руху, спільне з управлінням рухом пішоходів (Джерело: [21])

Для поліпшення умов велосипедного руху на перехрестях також можуть додатково застосовуватись деякі **спеціальні алгоритми СФР**.

1. Надання велосипедистам права проїзду двічі протягом одного циклу СФР. На практиці такі проїзди практично можливі, наприклад, сумісно з фазами

(періодами), які виділяються для руху ГТ, або ж для тих велосипедистів, які рухаються на перехрестях з виділеною смугою для повороту праворуч.

2. При реалізації **режиму «всім зелений»** для забезпечення діагонального переїзду велосипедистам, що рухаються у боковому просторі, на усіх переїздах надається дозвіл на рух (зелене світло), у той час як на світлофорах для АТЗ вмикаються заборонні сигнали (червоне світло). Очевидно, що така фаза «загальної заборони» для всіх напрямків автомобільного руху виключає загрози для велосипедистів і полегшує перетин ними перехрестя (насамперед - з поворотом ліворуч).

Внаслідок тривалого очікування (малого часу дозволеного проїзду велосипедистів при значній тривалості перетину перехрестя) та перевантаженості велопереїздів, на практиці можуть траплятися випадки нехтування велосипедистами заборони на рух (особливо тоді, коли дозволяється проїзд для попутного транспорту). Тому принцип діагонального переїзду може бути доцільним лише для компактних перехресть з інтенсивним велорухом, коли окрім загальної «велосипедної» фази, потрібні лише окремі фази для АТ (регулювання одностороннього руху, можливість повороту тощо).

3. Метою **світлофорної координації велосипедного руху** є створення умов для того, щоб велосипедист мав змогу проїхати через усі регульовані переїзди на вулиці, яку він перетинає, без проміжних зупинок. Для цього, наприклад, рух через велосипедний переїзд перед трикутним острівцем безпеки на примиканні має бути дозволений так довго, щоб наступний такий переїзд велосипедист міг перетнути в тому ж темпі або лише після невеликої проміжної зупинки. Часто таке узгодження можна здійснити лише за рахунок погіршення якості руху для АТ.

Якщо перехрестя зі СФР вздовж основних напрямків велосипедного руху розташовані одне за одним, хоча би на окремих ділянках таких вулиць варто організувати «зелену хвилю». При цьому треба виходити з реальної швидкості велосипедного руху.

2.2. Організація руху маломобільних груп населення 2.2. Organization of the movement of people with disabilities

Основні поняття та визначення

Мобільність в розумінні європейських фахівців з транспорту – це здатність людей брати участь в активностях, що відбуваються в різних місцях. Мобільність людей може мати різні характеристики – наприклад, залежати від певних обмежень в просторі та (або) часі чи факторів економічного стану. Тому в загальному випадку мобільність громадян можна оцінювати за інтенсивністю як високу або низьку.

Похідним від мобільності є поняття **маломобільні групи населення (МГН)** - особи, які відчувають труднощі при самостійному пересуванні, одержанні послуги, необхідної інформації або при орієнтуванні у просторі [23]. Під цю категорію підпадає доволі велика частка населення (за даними з різних джерел, вона складає 30÷50 %), зокрема:

- вагітні жінки;
- діти до 7-ми років;
- особи, які супроводжують малолітніх дітей;
- люди поважного віку;
- люди з інвалідністю;
- люди з постійними та/або тимчасовими функціональними порушеннями (фізичними, сенсорними, психічними, розумовими);
- люди які отримали тимчасову травму або хворіють;
- люди з нестандартними розмірами тіла: значно більшою або меншою за середню масою тіла, низького чи зависокого зросту;
- люди, які протягом певного часу можуть бути неуважними (приміром під впливом стресу).

Поняття **стала мобільність** походить від терміну **сталість**, тобто від здатності задовольняти поточні потреби людей без шкоди для довкілля та для інтересів прийдешніх поколінь. Відомим прикладом застосування цього терміну є «**Цілі сталого розвитку**», прийняті на Генеральній асамблеї ООН у 2015 році, серед яких [24]:

- забезпечення здорового способу життя та сприяння благополуччю для всіх в будь-якому віці;
- створення стійкої інфраструктури, сприяння всеохоплюючій і сталій індустріалізації та інноваціям;
- скорочення нерівності всередині країн і між ними;
- забезпечення відкритості, безпеки, життєстійкості й екологічної стійкості міст і населених пунктів;

- забезпечення переходу до раціональних моделей споживання і виробництва;
- вжиття невідкладних заходів щодо боротьби зі зміною клімату та його наслідками;

Прикладами країн, в яких мобільність населення досягнула високого рівня інтенсивності та сталості, можна назвати Швейцарію, Швецію, Німеччину та інші країни ЄС. За даними соціологічного дослідження, проведеного у 2016 році у 28 країнах-членах ЄС, 82 % європейців вважає, що місце їхнього проживання має добре сполучення з ГТ, і лише 5 % заявили, що їхня місцевість не має такого взагалі [25]. Рівень транспортної доступності не пов'язаний з проживанням на сільській або міській території. Наприклад, Австрія має одну з найвищих часток сільського населення (40 %) та один з найвищих рівнів охоплення ГТ.

Таким чином, під **сталою мобільністю** розуміють здатність людей брати участь в активностях, що відбуваються в різних місцях, завдаючи при цьому мінімального негативного впливу на довкілля, економіку та просторове планування територій; **така мобільність**:

- забезпечує доступність та задоволення потреб у розвитку людей, компаній і суспільства на умовах безпеки та у відповідності до потреб соціуму та екосистеми;
- є доступною, справедливою та ефективною;
- забезпечує вибір виду транспорту та підтримує конкуренцію і розвиток територій;
- скорочує обсяг шкідливих викидів та сміття з метою полегшення поглинання;
- використовує, наскільки можливо, відновлювальні джерела енергії, мінімізує вплив на землю та зменшує рівень шуму [26].

Організація та безпека міської мобільності для літніх людей та осіб з обмеженими можливостями здоров'я

Пішоходи являють собою групу індивідів з вельми відмінними характеристиками, здібностями і потребами. **Особливі потреби МГН** повинні бути прийняті до уваги, їм має бути наданий **беззаперечний пріоритет** при плануванні заходів щодо забезпечення їх мобільності в містах.

Вік накладає відбиток на поведінку і звички людей, а тому впливає на ризик дорожньо-транспортного травматизму серед пішоходів. Серед основних **факторів, що збільшують такий ризик для пішоходів похилого віку**, можна вказати наступні [27].

1. Погіршення гостроти зору, яке може чинити негативний вплив на здатність людей безпечно пересуватись по ВДМ, оскільки, в порівнянні з пішоходами більш молодого віку, літні пішоходи менш уважно стежать за ДР.

2. Погіршена орієнтація стосовно власного розташування відносно елементів ВДМ.

3. Ускладнення адекватного сприйняття складної дорожньої обстановки, і, як наслідок, уповільнена реакція при реагуванні на небезпеку, що виникла.

4. Ускладнення при перетині вулиці, що викликані необхідністю переорієнтації перед перетином середини ПЧ.

5. Можливі зіткнення з іншими пішоходами на переходах з інтенсивним рухом.

6. Проблеми, що викликані недостатнім рівнем уваги в процесі пересування (наприклад, спостереження за сигналами світлофора на шкоду спостереженню за ТЗ чи відсутність концентрації уваги на тих ТЗ, які повертають).

7. Поява потенційно небезпечних ситуацій, що викликані неправильним (некоректним, несвоєчасним) трактуванням інформації щодо режиму ДР на даній ділянці ВДМ (наприклад, невпевненість або нерішучість у власних діях, нерозуміння поведінки інших учасників ДР, рух назад в процесі перетину ПЧ на нерегульованому пішохідному переході, уповільнення завершення переходу в момент перемикання сигналів транспортного світлофора з жовтого світла на червоне).

8. Певні труднощі взаєморозуміння з іншими учасниками ДР та більш значний імовірний вплив провокуючих дій інших пішоходів.

9. Супутні захворювання і фізична уразливість, які призводять до більшої тяжкості травм при ДТП.

Згідно визначення [28], **особа з інвалідністю** – особа зі стійким розладом функцій організму, що при взаємодії із зовнішнім середовищем може призводити до обмеження її життєдіяльності, внаслідок чого держава зобов'язана створити умови для реалізації нею прав нарівні з іншими громадянами та забезпечити її соціальний захист. За статистичними даними EUROSTAT, **люди з інвалідністю (з обмеженими можливостями здоров'я)** в окремих країнах Західної Європи складають понад 20 % населення; в Україні до цієї категорії офіційно лише віднесені 6 % населення (рисунок 4.2.22).



Рисунок 4.2.22 – Частка людей з інвалідністю в країнах Європи
(Джерело: <http://www.ukrstat.gov.ua>)

Відомо, що в результаті ДТП за участю пішоходів з інвалідністю – як дітей, так і дорослих - тяжкість травм, як правило, вище. Так, результати дослідження в США показали, що у дітей з обмеженими можливостями здоров'я ризик бути збитими механічними ТЗ під час ходьби або їзди на велосипеді в п'ять разів вище, ніж у дітей без інвалідності [29]. У Новій Зеландії було встановлено, що пішоходи-діти з порушеннями зору стають жертвами ДТП в чотири рази частіше, ніж інші діти, а у дітей з порушеннями слуху ризик отримання травми під час пересування пішки є вдвічі вищим [30].

Крім того, люди з обмеженими можливостями здоров'я, як і інші учасники ДР, можуть відчувати тривогу і стрес, коли їм доводиться переміщуватись по ділянках ВДМ, які не оснащені нормальними переходами, або користуватися особистими допоміжними пристроями.

Ступінь ризику скоєння ДТП для пішоходів з обмеженими можливостями здоров'я підвищений внаслідок наступних причин.

1. Люди з порушеннями рухливості можуть перетинати ПЧ значно повільніше інших пішоходів, а також можуть впасти на тротуарі, якщо його поверхня буде слизькою чи нерівною.

2. Особи, які користуються кріслами колісними, можуть зазнавати труднощів, якщо відсутні пологі з'їзди з тротуарів або доступні маршрути. Цим людям набагато складніше реагувати на раптову появу ТЗ, не кажучи вже про можливість уникнути зіткнення з ними.

3. Люди з порушеннями зору (слуху) можуть не бачити (не чути) інших учасників ДР, тобто не мають об'єктивної можливості своєчасно виявити небезпеку для свого руху.

4. Люди з порушеннями розумового розвитку можуть не усвідомлювати існуючих небезпек (наприклад, перед перетином ПЧ чи при його здійсненні) або здійснювати інші непередбачувані вчинки.

Для поліпшення мобільності **літніх пішоходів та осіб з обмеженими можливостями здоров'я** в сучасних містах, окрім загальних заходів щодо забезпечення зручності та безпеки пішохідного руху, можуть бути додатково рекомендовані такі заходи.

1. Облаштування ТЗ МГТ та елементів транспортної інфраструктури у всіх необхідних місцях **засобами безперешкодного доступу до об'єктів** - інженерно-технічними та функціональними частинами (елементами, конструкціями), які відповідають нормативним вимогам щодо забезпечення доступності і безпеки об'єктів для осіб з інвалідністю та інших маломобільних груп населення (пандусами (рисунок 4.2.23), скошеними бордюрами, підйомниками та платформами для осіб з інвалідністю, системами звукового інформування, тощо).



Рисунок 4.2.23 – Мобільний (тимчасовий) пандус на сходах
(Джерело: <https://www.braunability.com>)

2. **Зменшення верхньої межі дозволеної швидкості руху ТЗ** на ділянках з наявним рухом вказаних категорій населення.

3. Облаштування **тротуарів з тактильним покриттям** на потенційно небезпечних ділянках (наприклад, на краях тротуарів, перед вуличними переходами чи сходами позавуличних переходів, на зупинках МГТ), які поліпшують орієнтування людям з порушеннями зору.

4. Використання дорожньої розмітки пішохідних переходів, що забезпечує кращі умови її **видимості**, а також **підвищення висоти поверхні пішохідних переходів** до рівня тротуару.

5. Застосування на пішохідних переходах **додаткових засобів та пристроїв**, які можуть бачити (чути) люди з порушеннями зору (слуху) – освітлювальних пристроїв, світлоповертальних елементів, голосових сповіщень, тощо (рисунок 4.2.24).



Рисунок 4.2.24 – Додаткове автономне освітлення зони нерегульованого пішохідного переходу в темну пору доби (Джерело: <https://odessa-life.od.ua>)

6. **Збільшення тривалості ввімкнення дозвільного сигналу пішохідного світлофора** на регульованих перехрестях та переходах з наявним рухом осіб з порушеннями рухливості чи таких, які користуються колісними кріслами (недостатній час для переходу створює небезпеку для тих пішоходів, які пересуваються повільно).

7. **Інформування населення** про необхідність забезпечувати безпеку пішоходів похилого віку.

Забезпечення доступності та зручності шляхів пересування маломобільних груп населення в містах України

Базові нормативні положення щодо **забезпечення доступності та зручності шляхів пересування МГН в містах України** визначені вимогами [28]. Розглянемо ті з них, що безпосередньо стосуються облаштування елементів ВДМ та транспортної інфраструктури.

Шляхи пересування для МГН повинні бути **поєднані** з зовнішніми (по відношенню до ділянки) транспортними та пішохідними комунікаціями, спеціалізованими паркувальними місцями, зупинками ГТ. При **перетині ТЗ** таких пішохідних шляхів слід передбачати інформаційні елементи завчасного попередження водіїв про місця переходу та його регулювання.

Система **засобів орієнтації та інформаційної підтримки** (тактильні та візуальні елементи доступності, засоби звукового інформування) повинні бути передбачені на всіх шляхах руху МГН на весь час їх експлуатації.

Ширина пішохідних шляхів із зустрічним рухом повинна бути не менше 1,8 м (рисунок 4.2.25); їх **поздовжній ухил** не повинен перевищувати 5 % (1:20). На ділянках з більшим ухилом необхідно влаштовувати зовнішні сходи і пандуси.

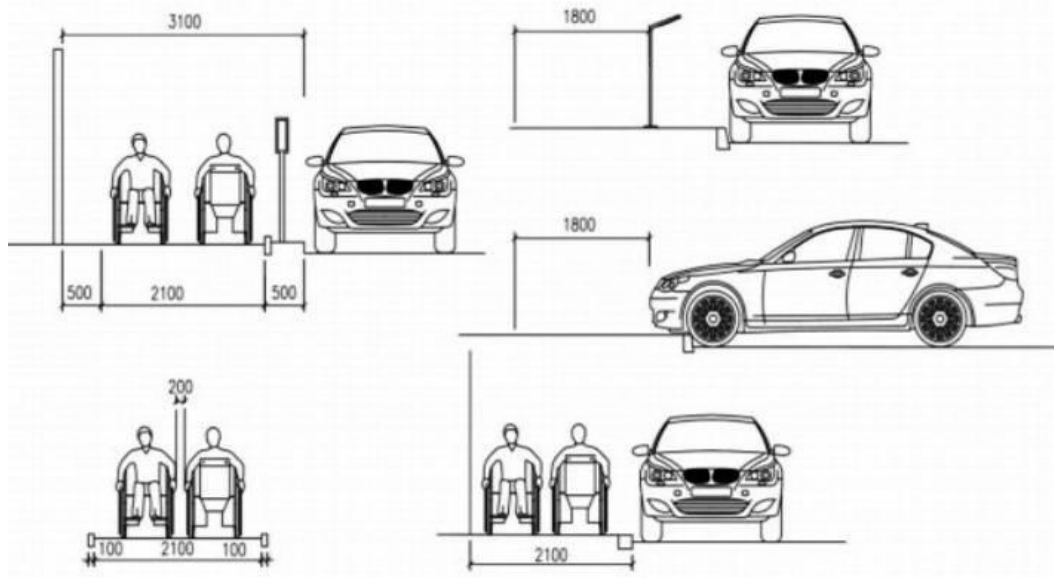


Рисунок 4.2.25 – Розміри тротуарів та доріжок для руху МГН (Джерело: [28])

За неможливості організації наземних (вуличних) пішохідних переходів для МГН необхідно проектувати **підземні та надземні переходи**, які слід обладнувати **пандусами** із пологим спуском або **підйомними пристроями** (ліфт, підйомник) (рисунок 4.2.26).

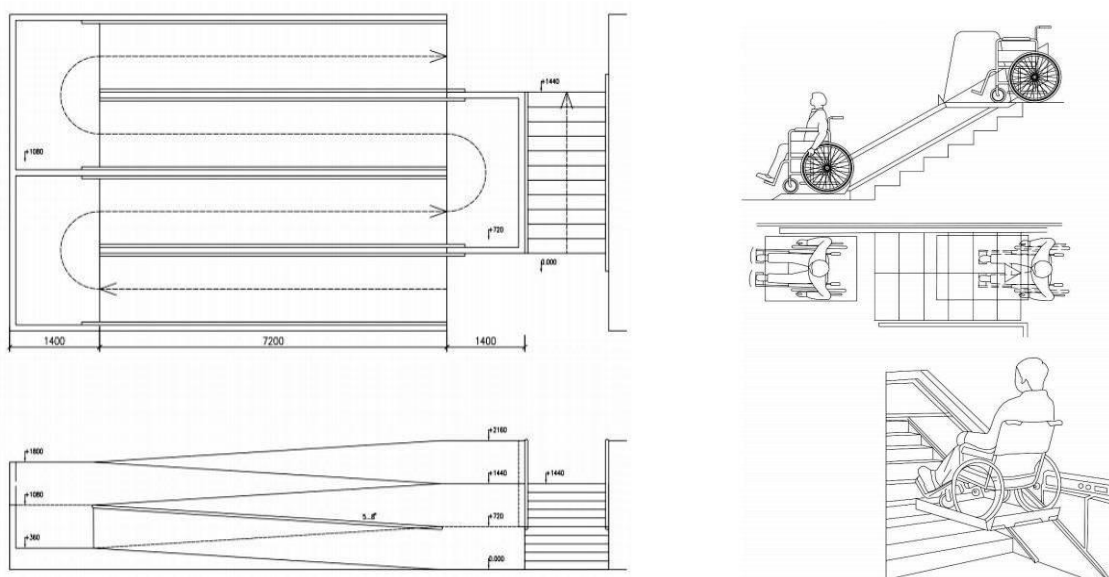


Рисунок 4.2.26 – Засоби безперешкодного доступу для МГН на підземних та надземних пішохідних переходах (Джерело: [28])

Ухил пандусу на з'їзді з тротуару на ПЧ приймається 10 % (1:10), **максимальна висота одного підйому** не повинна перевищувати 0,8 м. **Ширина пандусу** при односторонньому русі має складати 1,2 м, при двосторонньому – 1,8 м. Після кожного підйому необхідне влаштування горизонтальних майданчиків глибиною не менше 1,5 м. Зовнішні пандуси повинні мати **двостороннє огороження з поручнями**. За висоти підйому більш ніж 3,0 м пандуси слід замінювати **підйомними пристроями**.

На відкритих індивідуальних автостоянках біля закладів обслуговування слід виділяти **не менше ніж 10 % місць (але не менше одного місця) для транспорту осіб з інвалідністю**. Ці місця повинні позначатися ДЗ та розміткою, а також **пиктограмами міжнародного символу доступності** (рисунок 4.2.23).

Місця для паркування таких ТЗ, а також майданчики для зупинки для посадки (висадки) їх пасажирів, слід передбачати **на відстані не далі ніж 50 м** від входів до громадських будівель, доступних для МГН.

Ширина зони для паркування автомобіля особи з інвалідністю повинна бути не менше ніж 3,5 м. **Розміри паркувальних місць**, які розташовані паралельно бордюру, повинні забезпечувати доступ до задньої частини автомобіля, щоб використовувати пандус або підйомний пристрій (рисунок 4.2.27).

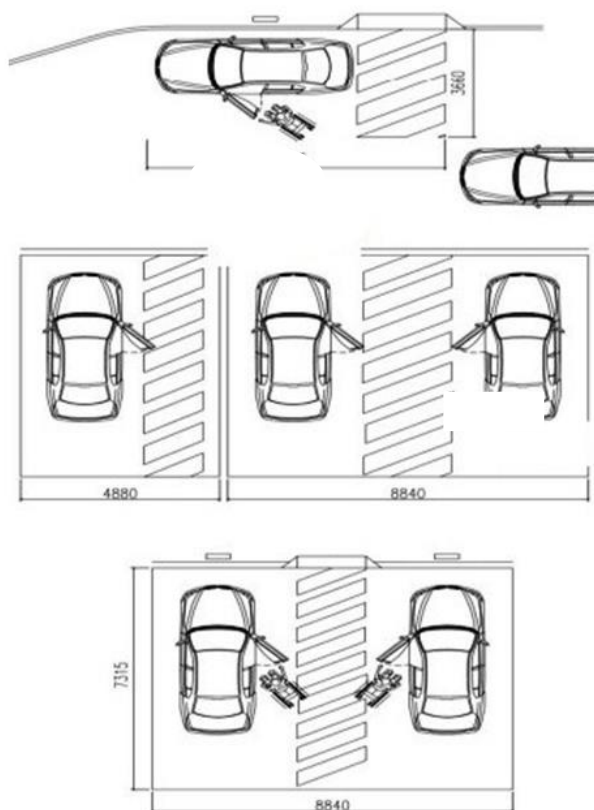


Рисунок 4.2.27 – Розміри місць паркування для ТЗ осіб з інвалідністю (Джерело: [28])

Тактильні елементи доступності повинні надавати особам з порушенням зору необхідну і достатню інформацію, яка сприяє їх самостійній орієнтації. Основним з таких елементів для застосування в інфраструктурі (у т.ч. – на ВДМ) є **тактильні системи (ТакС)**, які повинні **попереджувати про різні види небезпеки (перешкоди)**, а також **забезпечити інформацію** щодо початку та закінчення руху, зміни напрямку руху, відображення місця посадки до ТЗ, тощо.

Стандартними зовнішніми ТакС є бордюрий камінь, газон, пішохідна доріжка (яка має наявне з одного чи двох боків різне за фактурою покриття зі стандартних матеріалів), комбіноване покриття (покладені різні типи тротуарної плитки, бруківки, тощо, що відрізняються тактильно і за кольором). **Спеціальні ТакС** – це поверхні, які виготовлені зі спеціальних тактильних **індикаторів** (наприклад, рифів повздовжніх чи зрізаних конусів заввишки 0,004–0,005 м).

Попереджувальні ТакС обов'язково встановлюються паралельно відносно бар'єру (перешкоди) – у місцях пониження бордюрного каменю перед виходом людей на ПЧ (на пішохідний перехід), перед наземним чи підземним переходом, по краю посадочної платформи (на зупинках трамваю, метрополітену), на початку та в кінці пониження/підвищення пішохідного шляху (рисунок 4.2.28). Така ТС повинна бути завширшки не менш ніж 0,4–0,6 м, мати рельєф у вигляді зрізаних конусів, а її початок повинен знаходитись не менше ніж за 0,8 м до перешкоди.

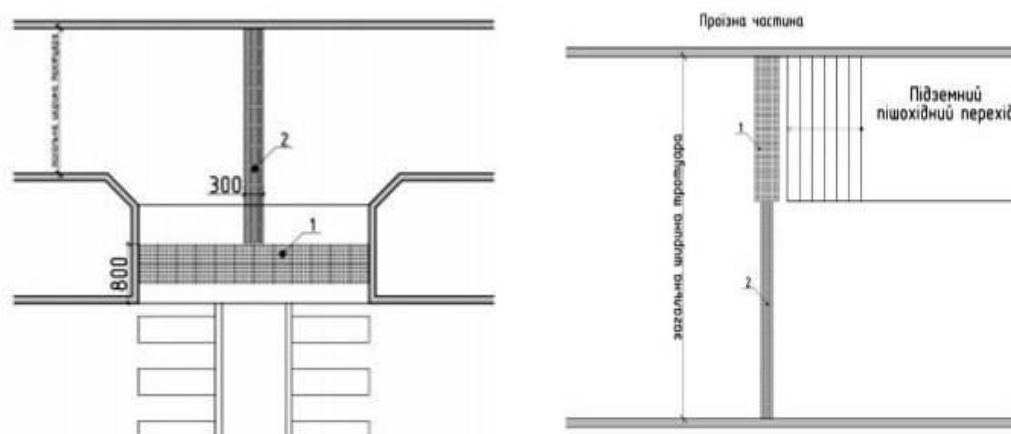


Рисунок 4.2.28 – Приклад застосування ТакС перед пішохідними переходами (джерело: [28]): 1 – попереджувальна; 2 – інформаційна

Направляюча ТакС повинна забезпечувати вільне орієнтування для пошуку необхідного та безпечного напрямку руху осіб з порушенням зору та інших категорій МГН; такі системи (смуги) влаштовують, наприклад, якщо необхідно прокласти маршрут до конкретного об'єкта (наприклад, на шляхах до об'єктів транспорту та транспортної інфраструктури). Смуга такої системи

повинна бути завширшки не менше ніж 0,3 м та мати рельєфний вигляд повздовжніх (паралельних) рифів/ребер заввишки 0,004–0,005 м.

Інформаційною ТакС позначають початок та закінчення, а також місце зміни напрямку руху направляючої ТакС; для цього застосовують смугу завширшки не менше ніж 0,6 м зі зрізаними конусами. В місці початку наземного пішохідного переходу (чи перед перехрестям) така смуга влаштовується перпендикулярно до попереджувальної ТакС по всій ширині пішохідного шляху. Аналогічно позначаються підземні переходи, початок (закінчення) зупинок МГТ та місця посадки в МТ, пандуси, сходи тощо (рисунок 4.2.28).

Для підвищення ефективності орієнтування МГН **різні види ТакС мають застосовуватись комплексно** (рисунок 4.2.29).

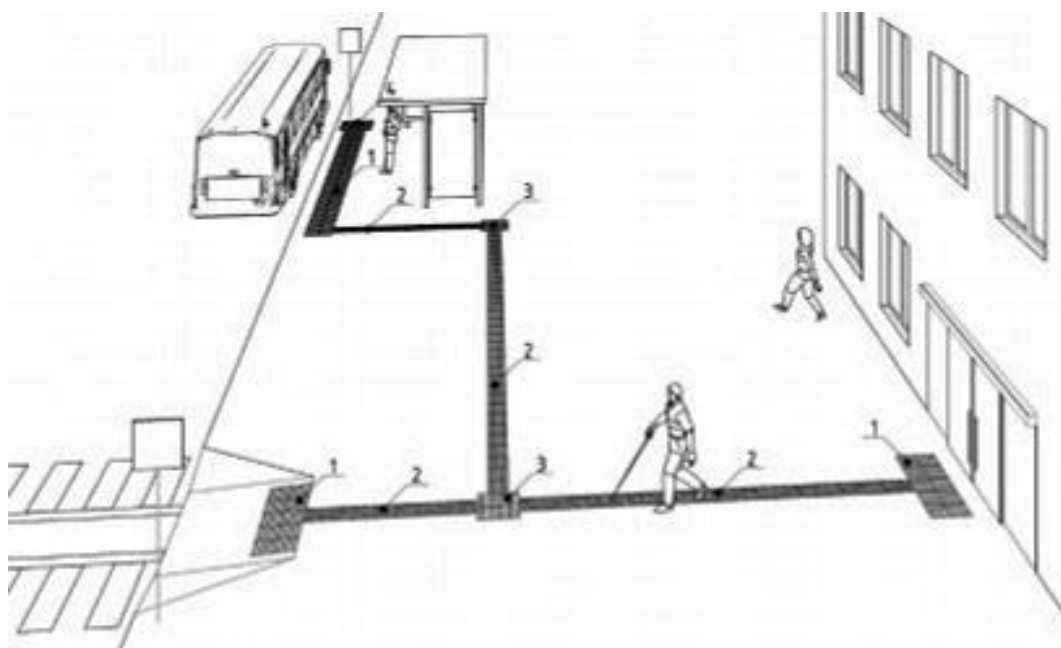


Рисунок 4.2.29 – Приклад облаштування маршрутів руху МГН (Джерело: [28]):

- 1 – попереджувальна ТакС; 2 – направляюча ТакС; 3 – інформаційна ТакС, що вказує місце повороту (розходження) направляючої ТакС;
- 4 – інформаційна ТакС, що вказує місце посадки в МТ.

Поліпшення транспортної безпеки дітей в містах

За даними ВООЗ, щодня в світі внаслідок ДТП гине до 500 дітей; ще більше їх внаслідок наїздів ТЗ отримують тілесні ушкодження та психологічні травми, наслідки яких можуть відчуватись роками. Через потенційні небезпеки (в т.ч. – і на ВДМ) багато дітей в сучасних автомобільних містах зазнають серйозного зниження фізичного та психічного здоров'я через обмежений доступ до соціалізації та активності. Як наслідок – 80 % дітей у віці від 11 до 17 років не

мають достатньої фізичної активності, а 38 мільйонів дітей віком до 5 років мають надлишкову вагу або ожиріння [31].

Для поліпшення життя дітей в сучасних містах можуть застосовуватись різні заходи, в т.ч. такі, що спрямовані на удосконалення організації їх руху.

1. Створення інфраструктури для безпечної ходьби та їзди на велосипеді, насамперед – поблизу шкіл. Пішохідні та велосипедно-орієнтовані простори підтримують та заохочують активну рухливість для всіх, але особливо – для дітей. Забезпечення безпечного доступу дітей до таких стратегічних місць, як школи, парки, школи та громадські центри, є життєво важливим (рисунок 4.2.30). Безпечні вулиці не лише запобігають дорожньо-транспортному травматизму та летальним наслідкам, але і дозволяють дітям почуватись комфортно та заохочують до самостійних активних подорожей. Створення порівняно простими способами безпечної пішохідної інфраструктури (переходів, острівців безпеки, огорожень, тощо) дає змогу зменшити тривалість перетину ПЧ, обмежити швидкість ТЗ на при поворотах, повернути значні ділянки дорожнього простору для пішоходів.



Рисунок 4.2.30 – Пішохідна доріжка поблизу школи в м. Боготі (Колумбія)
(Джерело: © Secretaría de Movilidad)

2. Створення зон низької швидкості. Забезпечення низької швидкості руху автомобілів на ВДМ міста має вирішальне значення для безпеки всіх пішоходів, проте особливо важливою вона є саме для дітей (зі збільшенням швидкості ТЗ поле зору водія звужується, ускладнюючи їм можливість своєчасного виявлення маленьких дітей чи реагування на їх раптовий вихід на ПЧ).

3. Врахування особливостей дитячої психофізіології. Через свій невисокий зріст, обмежені когнітивні навички та зір діти сприймають елементи

дорожньої обстановки інакше, ніж дорослі, тому при організації транспортного обслуговування в місцях інтенсивного дитячого руху (наприклад, на підходах до шкіл та на пришкольній території) доцільно застосовувати такі **елементи підвищення безпеки** як:

- яскраві підняті переходи, призначені для контролю швидкості руху АТЗ, які легко видно на рівні очей дитини;
- широкі, прохідні та безбар'єрні тротуари відповідно до їх рівня комфорту та координації (рисунок 4.2.31);
- тактильні направляючі смуги (покриття), які допоможуть дітям безпечно йти по тротуару;
- попереджувальні вивіски та інтерактивна розмітка на тротуарі для гри;
- спеціальні зони очікування біля входних воріт школи.



Рисунок 4.2.31 – Дизайн вулиці для дітей в м. Мілан (Італія)
(Джерело: <https://www.archdaily.com>)

4. Створення зон чистого повітря. Діти особливо вразливі до забруднення повітря – наприклад, через свій зріст маленькі діти вдихають на 30 % більше чадного газу (CO) від викидів АТЗ, ніж дорослі. За даними ВООЗ, майже кожна десята смерть від забруднення повітря - це діти віком до п'яти років. Якість повітря навколо шкіл чи житлових мікрорайонів можна суттєво поліпшити за рахунок заборони в'їзду «брудних» ТЗ та зменшення роботи двигунів на холостому ходу, а також заохочення екологічно безпечних видів транспорту та інфраструктури.

5. Створення спеціальних маршрутів (т.з. «пішохідних шкільних автобусів»).

Шлях від дому до школи є місцем інтенсивних контактів дітей з ТЗ і, відповідно, ризиків. Діти-пішоходи потрапляють в ситуацію ризику з багатьох причин: часто вони не можуть зрозуміти різницю між небезпечним і безпечним місцем для переходу вулиці, нерідко вони можуть бути розсіяними чи розмовляти по мобільному телефону під час свого руху.

Однією зі стратегій забезпечення БР дітей в таких ситуаціях є застосування т.з. «пішохідних шкільних автобусів». Ця модель була розроблена в Австралії і вона ґрунтується на тому, що батьки (або інші дорослі) супроводжують групи дітей на шляху від місць їх проживання до школи (один з дорослих знаходиться попереду, інший йде в кінці групи). Такий «автобус» рухається по території громади, забираючи дітей з їхніх будинків, згідно «розкладу», яким визначений час його «прибуття» на кожен «зупинку» на шляху проходження. Для пересування використовуються лише безпечні і добре розмічені маршрути. Після закінчення занять «автобус» рухається в зворотньому напрямку.

Крім поліпшення здоров'я дітей та зниження рівня моторизованого руху і забруднення довкілля, «пішохідні автобуси» навчають дітей безпечної поведінки на ВДМ, пропагують активний спосіб життя та зміцнюють соціальні зв'язки між дітьми різних вікових груп.

Заходи для зменшення швидкості та інтенсивності руху ТЗ в місцях пересування маломобільних груп міського населення

Одним з найбільш ефективних способів підвищення безпеки МГН та інших пішоходів є **зниження швидкості ТЗ**, оскільки вона є ключовим фактором не лише ризику скоєння наїздів на пішоходів, але і тяжкості наслідків таких ДТП (рисунок 4.2.32). Тому одночасно з заходами, що зменшують імовірність контактування пішоходів з рухомими ТЗ, необхідно також управляти швидкісним режимом останніх. Безпосередньо для МГН фактор швидкості ТЗ має ще більш суттєве значення, оскільки, як вже вказувалось, зменшення верхньої межі дозволеної швидкості руху транспорту на ділянках з наявним рухом таких категорій населення є необхідною умовою їх практичної мобільності загалом.

Управління швидкістю транспорту на потенційно небезпечних ділянках ВДМ міста - це не просто встановлення і контроль дотримання належних її обмежень. Воно охоплює широке коло заходів у сферах **проектування, застосування та освіти** з метою забезпечення балансу між БР та ефективністю роботи транспорту в місті. На даний час однією з загальних

тенденцій такого управління є **загальносистемне обмеження швидкості ТЗ до 30 км/год та нижче на всій території міського району** замість того, щоб вводити такі обмеження на окремих вулицях [32].

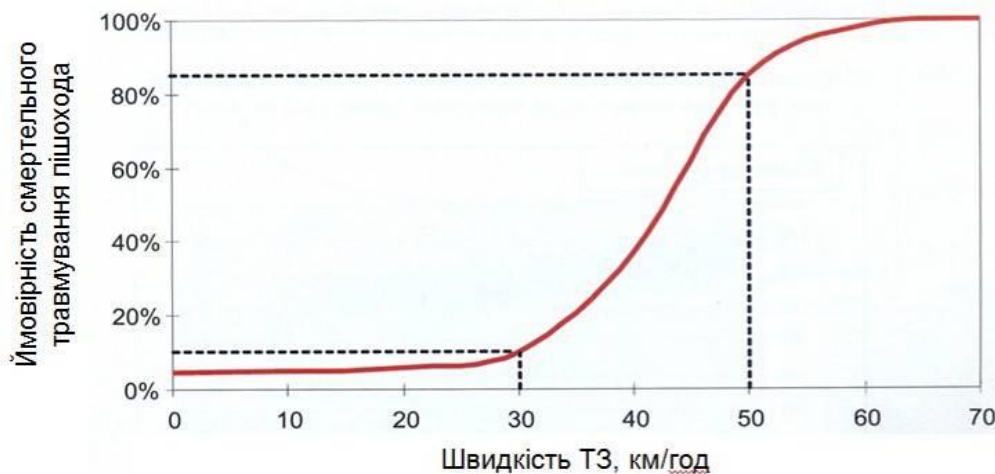


Рисунок 4.2.32 – Ймовірність смертельного травмування пішохода при наїзді ТЗ (Джерело: Information Service United Nations Economic Commission for Europe)

Інженерно-технічний підхід до управління швидкістю ТЗ включає в себе багато конкретних заходів, спрямованих на обмеження швидкості (насамперед - **регламентація максимальних значень швидкості та заспокоєння дорожнього руху (*traffic calming measure*)**), а також **заходи психологічного впливу**. Всі ці заходи мають не лише забезпечити доцільне обмеження швидкості ТЗ, а і сприяти деякому зменшенню інтенсивності руху транспорту.

Під **засобами заспокоєння ДР (*traffic calming means*)** розуміють конструктивні елементи дороги (вулиці) або технічні засоби, які призначені для зниження швидкості дорожніх ТЗ та підвищення уважності учасників ДР.

Об'єми впровадження заходів щодо обмеження швидкості ТЗ можуть варіюватись від незначних змін (наприклад, удосконалень на місцевих вулицях) до масштабних перебудов і модифікацій на території всього міського району. Результати численних досліджень демонструють зниження кількості ДТП за участю пішоходів після реалізації заходів з заспокоєння ДР (спорудження островців безпеки, влаштування підвищених пішохідних переходів та звужень ПЧ перед ними, застосування штучних перешкод та нерівностей покриття), а також комплексної модифікації перехресть [33].

При **виборі заходів, спрямованих на обмеження швидкості руху транспорту**, слід мати на увазі наступні важливі обставини [27].

Найбільший ефект дає **поєднання декількох видів заходів** (в ідеалі, їх слід застосовувати на різних вулицях в масштабах всього району).

Вибір заходів має бути продиктований **особливостями місцевих умов**, тому дуже важливо застосовувати окремі з них на таких типах елементів інфраструктури (переходах, перехрестях, ділянках вулиць чи житлових районів, тощо), для яких вони призначені.

Для вибору заходів також дуже важливо заздалегідь визначити, що є **основним завданням** – зниження швидкості руху ТЗ, зменшення інтенсивності ТП або ж рішення обох цих задач. Штучні нерівності покриття (дорожні пагорби), кільцеві пересічення та інші заходи з обмеження швидкості ТЗ сприймаються деякими фахівцями, місцевими жителями і представниками ЗМІ як перешкоди для «нормального» ДР, в результаті може виникати протидія цим заходам. Тому вже на етапі планування таких заходів для досягнення відповідного консенсусу можуть знадобитися **участь місцевих жителів**.

Самі по собі заходи щодо обмеження швидкості руху та інтенсивності ТП **не поліпшують умови для пішоходів та МГН**. Необхідно одночасно вирішувати й інші завдання (наприклад, посилювати контроль дотримання законів і ПДР, забезпечити ефективне освітлення ВДМ в темну пору доби, тощо).

У таблиці 4.2.6 наведені дані щодо умов застосування різних заходів, спрямованих на зниження швидкості та інтенсивності руху на магістральній та місцевій ВДМ міст, а також про їх можливий вплив на інтенсивність руху ТЗ.

Перехрестя з підвищеним рівнем ПЧ (покриття в зоні перехрещення піднімають до рівня тротуарів) також призначені для обмеження швидкості руху ТЗ (рисунок 4.2.33).

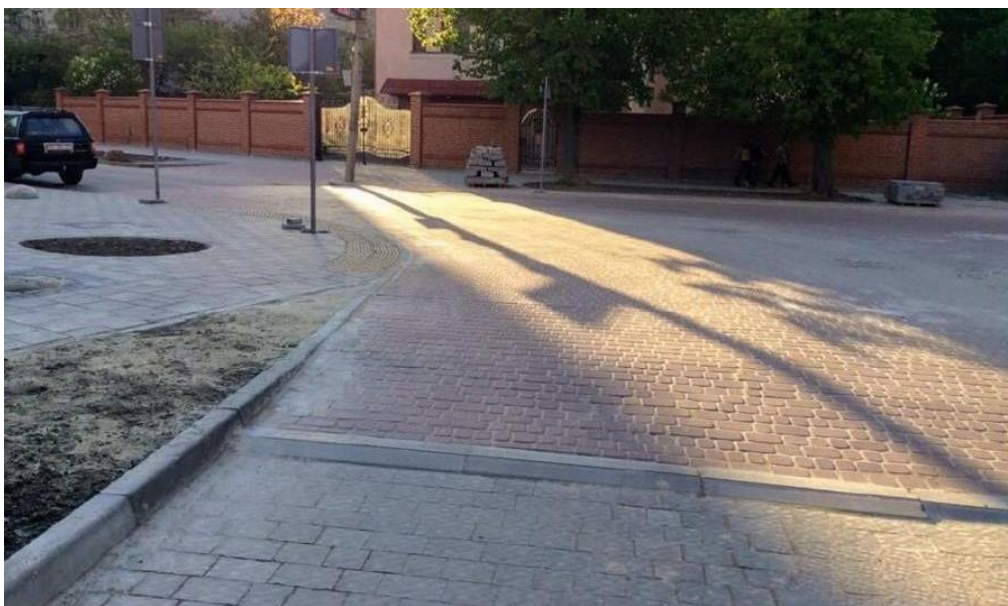


Рисунок 4.2.33 – Перехрестя з підвищеним рівнем ПЧ (Джерело: [37])

Таблиця 4.2.6 – Заходи для зниження швидкості та інтенсивності руху ТЗ, їх використання та імовірні результати [27, 34]

Найменування заходу	Можливість використання для зменшення швидкості		Вплив на інтенсивність руху
	на магістральних вулицях	на місцевих вулицях	
Штучні нерівності покриття (дорожні пагорби)	Ні	Так	Можливий
Локальні підвищення рівня ПЧ (в т.ч. - в зоні перехресть)	З обережністю	Так	Можливий
Підвищені пішохідні переходи	Так	Так	Можливий
Тактильні елементи на тротуарах	Так	Так	Можливий
Шумові смуги на покритті ПЧ перед пішохідними переходами	Так	Так	Відсутній
Заміна СФР на перехрестях кільцевим рухом (міні-кільця)	Ні	Так	Можливий
Кільцеві пересічення в одному рівні	Так	Так	Мало-ймовірний
Створення на ПЧ штучних поворотів (шикан)	Ні	Так	Наявний
Перепланування Т-подібних перехресть	Так	Так	Можливий
Зменшення радіусу повороту на перехресті	Так	Так	Можливий
Облаштування центрального острівця безпеки на пішохідному переході	Так	Так	Можливий
Зменшення довжини пішохідного переходу (облаштування чокерів)	Так	Так	Можливий
Звуження ПЧ (зменшення числа смуг руху чи їх ширини)	Так	Так	Наявний
Введення обмеження швидкісного режиму	Так	Так	Відсутній
Проектування ділянки ВДМ з урахуванням її сприйняття водієм (перцепційний дизайн)	Так	Так	Можливий
Встановлення попереджувальних ДЗ	Так	Так	Відсутній
Перекриття руху на половині ПЧ	Так	Так	Наявний
Діагональний поділ зони перехрестя непроїзним бар'єром	Так	Так	Наявний
Поперемінне звуження ПЧ (серпантинні вулиці)	Так	Так	Відсутній
Бар'єри уздовж розділової смуги	Так	Ні	Наявний
Диференціація швидкісного режиму на окремих ділянках ВДМ	Так	Ні	Відсутній
Координоване СФР руху	Так	Ні	Відсутній

При цьому кожен пішохідний перехід теж може бути піднятий, так що пішоходам не доведеться спускатися з рівня тротуару. В містах такі перехрестя споруджують із застосуванням спеціальних будівельних матеріалів. Для

пішоходів із вадами зору на кордоні між тротуаром і ПЧ необхідно влаштовувати контрастні попереджувальні смуги.

Міні-кільця – це круглі острівці безпеки з бордюрними каменями, які влаштовують в центральній частині нерегульованих перехресть на вулицях в житлових районах міста (рисунок 4.1.25). Міні-кільця, що розділені на два «острівці», також суттєво полегшують перехід вулиці пішоходам та особам, які пересуваються на візках колісних. Проїзд великогабаритних ТЗ (наприклад, пожежних автомобілів або шкільних автобусів) через таку ділянку можуть забезпечити скошені бордюрні камені на зовнішній стороні кільця.

Традиційні кільцеві пересічення в одному рівні передбачають влаштування великого центрального розділювального острівця в центрі перехрестя декількох вулиць (рисунок 4.2.34). Такі перехрестя можуть бути досить зручними для пішоходів, якщо вони обладнані напрямними острівцями безпеки на кожному в'їзді на коло, а також передбачають зниження швидкості перед в'їздом на перехрестя. Напрямні острівці для ТЗ перед таким перехрестям теж можуть бути використані пішоходами, що робить перехід вулиці більш безпечним. Для пішоходів із порушеннями зору, які відчувають труднощі при виборі напрямку руху, ці острівці можуть бути обладнані спеціальними сигналами, а також мати покриття з тактильними елементами.



Рисунок 4.2.34 – Кільцеве пересічення на одному рівні (Джерело: [37])

Зменшення радіусу повороту. Типовою ДТП за участю пішоходів на перехресті (примиканні) є наїзд на нього ТЗ, який виконує правий поворот. При значному радіусі заокруглення бордюрного каменю водії нерідко не знижують швидкість руху своїх ТЗ, що збільшує ризик для пішоходів. Зменшення радіусу повороту змушує проїжджати поворот обережніше та з меншою швидкістю. Ще одна перевага такого повороту - скорочення відстані, яку повинен подолати

пішохід на переході, а також поліпшення умов оглядовості для всіх учасників руху.

Острівці безпеки на пішохідних переходах або розділові смуги, які підняті над ПЧ (такі інфраструктурні об'єкти також називають «центральною острівцями» чи «пішохідними острівцями») дозволяють зменшити зони теоретично можливого контактування пішоходів з ТЗ, оскільки вони стають безпечним місцем для зупинки пішоходів під час переходу дороги (рисунок 4.2.35). На таких острівцях може мати місце озеленення, проте чагарники і дерева потрібно вибирати з урахуванням вимог забезпечення оглядовості (в т.ч. – для дітей та осіб на кріслах колісних). Крім того, конструкція таких острівців враховувати потреби пішоходів із порушеннями зору (на кордоні між пішохідною частиною та ПЧ влаштовується попереджувальна тактильна смуга), а для людей в кріслах колісних повинні бути передбачені пандуси або наскрізні проїзди.



Рисунок 4.2.35 – Розділові смуги, які підняті над ПЧ на перехресті (примиканні)
(Джерело: [37])

Чокер (*choke*) – засіб заспокоєння ДР, який є бічним горизонтальним розширенням тротуару, бордюра чи острівця безпеки на ПЧ, що призводить до звуження ширини останньої з одного чи обох боків одночасно (рисунок 4.2.36). ПЧ може бути звужена до однієї чи двох смуг. Водії механічних ТЗ повинні знизити швидкість руху і, при наявності лише однієї смуги, зупинитися, щоб пропустити зустрічний транспорт. Чокери повинні бути достатньо широкими, щоб забезпечити проїзд автомобілів екстрених служб і комунального транспорту.



Рисунок 4.2.36 – Чокери (Джерело: [37])

Поперемінне звуження ПЧ (серпантинні вулиці) не дає змоги ТЗ рухатись зі значною швидкістю. Для кращого інформування водіїв щодо безпечної траєкторії пересування ТЗ може використовуватися відповідне озеленення, яке одночасно створює видимість пересування в парку. При спорудженні таких вулиць слід пам'ятати про в'їзди на прилеглу територію та стоянки. Спорудження таких вулиць вимагає більше коштів у порівнянні з іншими стратегіями заспокоєння руху.

Інформаційне забезпечення ділянок ВДМ міст з наявними типовими засобами заспокоєння ДР та їх облаштування повинно здійснюватися у відповідності з вимогами [37, 35, 36].

На підходах до **дорожніх пагорбів** мають бути встановлені ДЗ 1.11, а самі такі пагорби - позначені розміткою 1.22. Для підвищення уваги водіїв вони мають візуально відрізнитися від покриття ПЧ за матеріалом, структурою чи кольором.

На підходах до **підвищених пішохідних переходів та перехресть** мають бути встановлено ДЗ 1.11, а за потреби зниження швидкості руху при наближенні до них – ДЗ 3.29, що дублюються розміткою 1.27. Самі такі переходи та перехрестя має бути позначено розміткою 1.22, вони повинні мати контрастне зовнішнє освітлення, а для підвищення уваги водіїв також можуть візуально відрізнитися від покриття ПЧ за матеріалом, структурою чи кольором.

На підходах до **шикан** мають бути встановлені ДЗ 1.3.1; 1.3.2; 1.5.1; 1.5.2 або 1.5.3. Для підвищення уваги водіїв потрібно застосовувати вставки розмічальні дорожні [37]. Острівці, які утворюють шикани, мають бути обрамлені бортовим каменем.

Міні-кільця та підходи до них мають бути обладнані ДЗ та розміткою у відповідності до прийнятої схеми руху транспорту та пішоходів. Також вони повинні мати контрастне освітлення.

На підходах до звужень ПЧ застосовують ДЗ 1.5.3 та вставки розмічальні дорожні. Зміну кількості смуг руху в кожному напрямку має бути позначено ДЗ 5.21.1, 5.21.2 та розміткою 1.19. Острівці, які утворюють чокери, має бути обрамлено бортовим каменем. Під час влаштування чокерів у межах смуги гальмування рекомендовано застосовувати текстуровані покриття (цегла та кольоровий асфальтобетон), які подають водіям візуальне попередження про звуження ПЧ.

2.3. Організація автомобільних стоянок (паркінгів)

2.3. Organization of parking lots

Особливості розвитку транспортних систем міст України

З ряду об'єктивних причин **більшу частину XX ст. міста Східної Європи (насамперед – колишнього СРСР) знаходились поза межами загальносвітових трендів формування ТС міст [10].** Планування і забудова радянських міст виходила з нормативу в 60–80 автомобілів на 1000 жителів в реальності і 180 автомобілів на 1000 жителів – після «побудови комунізму». Масова автомобілізація в пострадянських країнах почалась лише 15–20 років тому.

Проте **реагування на стрімке зростання числа особистих легкових автомобілів** було за світовими мірками досить **нестандартним**. Так, у Києві та інших найбільших українських містах **склався нехитрий консенсус:**

- забудовник, допущений на місцевий ринок, може будувати скрізь, де знайде або розчистить місце для котловану; **наявність ВДМ та іншого транспортного ресурсу, відповідного збільшенню очевидного прогнозованого функціонального навантаження, вважається неважливим;** стурбованим городянам настійно рекомендується приймати цей порядок як належне;

- переважна більшість власників АТЗ має можливість **безперешкодно (і практично безкоштовно) заїхати на своєму автомобілі на будь-яку територію** в місті, а також **зупинити (припаркувати) його всюди**, де для цього знайдеться місце в чисто фізичному сенсі цього слова; на засадах взаємності міська влада приймає такий порядок за належне;

- **використання МГТ слід вважати долею невдах і оригіналів**, нездатних купити собі навіть «відро з гайками» і (або) нездатних до управління цим ТЗ; економічно успішна частина містян молодого віку (у всякому разі, значна її частина) приймала цю дивну ідею за істину в останній інстанції.

Вищенаведена практика має один-єдиний недолік: **при всій невибагливості вітчизняних автомобілістів рано чи пізно місця для всіх в ТСМ, що склалась, не вистачить.** Власне, його вже не вистачає: наприклад, характерні швидкості сполучення в Києві становлять близько 20 кілометрів на годину, що в 1,5-2 рази нижче, ніж в найбільш автомобілізованих містах світу. Крім того, простір у тих ТЗ, що рухаються, а також у пішоходів і наземного МГТ, відбирають припарковані автомобілі (рисунок 4.2.37).



Рисунок 4.2.37 – Вулична автостоянка на вул. Симона Петлюри в м. Києві
(Джерело: Генеральний план Києва / Facebook)

Причина такого стану очевидна: **найбільші українські міста проходять сьогодні рівень автомобілізації близько 300-400 автомобілів на 1000 жителів** (американські міста пройшли цей рубіж у кінці 1920-х років, західноєвропейські – в середині 1960-х). Розрахунки і міжнародний досвід показують, що **ця позначка – критична:** автомобілі вже освоїлися в місті, і тепер місту (якщо воно хоче бути зручним для життя) необхідно невідкладним чином не лише пристосувати своє планування і стандарти забудови до автомобілів, але і (одночасно) змінювати стандарти використання автомобілів відповідно до вимог забезпечення комфортного міського середовища. На жаль, в сучасних містах України **не лише історичні центри, а і райони масової забудови всіх років (з 1960-х по 2000-ті) зовсім не пристосовані до більш-менш високого стандарту автомобілізації.**

Особливості процесу паркування в містах

Організація автомобільних стоянок (автостоянок) та паркінгів є однією з найбільш важливих проблем функціонування ТС міст. Під **автостоянкою** розуміють спеціально обладнану відкриту площадку для постійного або тимчасового зберігання легкових автомобілів та інших мототранспортних засобів. У зарубіжній літературі та практиці **паркінги** - автостоянки, наземні (переважно відкритого типу) та підземні гаражі для тимчасового зберігання легкових автомобілів (англ. *parking* < *park* – ставити автомобіль на стоянку (паркувати)). [38]

У центральних частинах значних та найзначніших міст **автомобілі, що стоять**, є основною причиною **зниження пропускної здатності**. З іншого боку, через пошук місця для паркування на ВДМ одночасно знаходиться у русі більша кількість автомобілів, причому рухаються вони, як правило, з низькими швидкостями. Тому в таких завантажених транспортом частинах міста вимогами щодо паркування ТЗ передбачається (окрім будівництва позавуличних стоянок (паркінгів) великого обсягу) оптимальне використання наявних просторів для паркування (насамперед – **надання переваг оперативному короткостроковому паркуванню порівняно з тривалим** за допомогою відповідних організаційних та управлінських заходів).

Необхідність в організації стоянок (паркінгів) в містах виникає:

- в центральній частині міст та в центрах житлових районів;
- в районах масової періодичної концентрації відвідувачів (стадіони, виставки, парки, театри, торговельні центри, зони відпочинку та інше);
- в місцях розташування об'єктів зовнішнього транспорту (залізничні і автовокзали, водні і повітряні вокзали і порти);
- в місцях тимчасового перебування відвідувачів (готелі, будинки відпочинку, пансіонати, санаторії, лікарні та інше);
- в місцях прикладання праці (підприємства, установи, навчальні заклади, тощо);
- в житлових районах;
- в місцях постійного зберігання, обслуговування та ремонту АТЗ (гаражі, СТО, АЗС, тощо)

Особливості (проблеми) процесу паркування автомобілів в сучасних містах [39]:

- **труднощі виділення території** (Автомобіль, що стоїть, з урахуванням динамічного габариту займає біля 25 м². Середня кількість пасажирів в індивідуальному автомобілі 1,2–1,6 осіб. Відомо, що в загальноміському центрі одночасно буває 10–15 % всього населення міста. Якщо кожен буде приїздити

автомобілем, то в центрі міста з мільйонним населенням можуть шукати місця біля 120 тисяч автомобілів. Для них знадобилось би $120\,000 \times 25 = 3\,000\,000$ м² (300 га, 3 км²) території);

- **взаємодія стоянок з іншими елементами інфраструктури міста;**
- **забезпечення охорони довкілля** (концентрація автомобілів викликає концентрацію шкідливих викидів та шуму);
- **безпека руху** (Більшість ДТП поблизу стоянок відбувається з пішоходами, для яких зупинений автомобіль є перешкодою, що обмежує видимість чи оглядовість. Автомобілі, які стоять на вулиці, звужують ПЧ, тим самим ущільнюють рух на її внутрішніх смугах та змушують інші автомобілі додатково маневрувати.)

Вирішення проблеми розміщення АТЗ має декілька етапів, які характеризуються **способом паркування більшості автомобілів:**

- на магістральних вулицях;
- на житлових вулицях;
- на стоянках поза межами вулиць;
- в багатоповерхових спорудах.

Планування та організація автостоянок вимагає не лише знання існуючої забудови і характеру її використання, але також **точного транспортного (функціонального) призначення території.** Ці матеріали необхідно доповнювати даними **вибіркових обстежень для виявлення існуючої потреби в автостоянках і тривалості стоянки окремих автомобілів.**

При плануванні автостоянок слід виходити з необхідності **раціональної організації транспорту і економічного використання площ, що відводяться під такі стоянки.** Така вимога особливо важлива для **територій з інтенсивним рухом** (наприклад, центральних районів міста), де необхідно прагнути до такого розміщення автостоянок, коли б вони взаємно резервували одна одну, що дозволило б скоротити їх загальну площу.

Класифікація та планувальні характеристики автомобільних стоянок (паркінгів)

З точки зору організації та тривалості перебування автомобілів на стоянці (паркінгу) розрізняють їх **постійне та тимчасове зберігання.** **Постійне** - тривале цілодобове зберігання АТЗ на автостоянках і в гаражах на постійно закріплених за конкретними автовласниками машино-місцях; **тимчасове** - зберігання АТЗ біля різного призначення об'єктів періодичного або епізодичного відвідування на автостоянках і в гаражах на незакріплених за конкретними автовласниками машино-місцях [39].

Автомобільні стоянки (паркінги) в містах в залежності від свого **розташування** поділяють на **вуличні** (передбачають використання для розміщення автомобілів ПЧ існуючої ВДМ) та **позавуличні** (спеціально облаштовані майданчики, які віддалені від ПЧ). Спосіб постановки автомобілів на вуличних стоянках може визначатися лініями дорожньої розмітки та табличками 7.6.1-7.6.5 до ДЗ 5.38 «Місце для стоянки», 5.39 «Зона стоянки» [35].

Позавуличні стоянки (паркінги) можуть бути влаштовані на відкритих (закритих) майданчиках, на дахах будівель, в спеціальних одно- чи багатоповерхових спорудах **надземного чи підземного** типу. Багатоповерхові паркінги в залежності від способу переміщення в них автомобілів поділяють на **рампові** (автомобілі пересуваються своїм ходом) та **механізовані** (наявні спеціальні ліфти або конвеєри) (рисунок 4.2.38).



Рисунок 4.2.38 – Багатоповерховий механізований паркінг («Автомобільна вежа Volkswagen») у м. **Вольфсбург (Німеччина)** (Джерело: <https://interestingengineering.com>)

У великих містах Західної Європи та США з високим рівнем автомобілізації переважна кількість місць для паркування забезпечується за рахунок **позавуличних стоянок**, більшість з яких є **платними**. Введення оплати, розмір якої зазвичай визначається тривалістю перебування АТЗ на стоянці, не тільки дозволяє відшкодувати будівельні і експлуатаційні витрати, але й забезпечує більш раціональне використання стоянки.

В залежності від **режиму роботи** розрізняють **вуличні стоянки 3-х типів**: з необмеженим часом роботи; з обмеженням тривалості перебування автомобіля; з обмеженим (протягом доби) часом роботи.

Стоянки 2-го типу часто застосовують в **центральных районах міст**, що характеризуються значним транспортним завантаженням та обмеженими можливостями щодо паркування; це дозволяє обслужити більшу кількість власників автомобілів. Характерним прикладом такого підходу є організація в містах Західної Європи т.з. **«блакитних зон»**, в межах яких тривалість перебування АТЗ на вуличних стоянках не може перевищувати 1,5 год. Це практично виключає можливість використання таких стоянок особами, які приїжджають на особистих автомобілях на роботу.

Режим стоянок 3-го типу вводять на окремих вулицях, **пропускна здатність яких в години «пік» при наявності припаркованих автомобілів є недостатньою**, а також для окремих періодів часу в зв'язку з необхідністю виконання спеціальних навантажувально-розвантажувальних робіт чи прибиранням вулиць. Такий режим може застосовуватися і на **позавуличних стоянках**, щоб запобігти перетворенню їх в місця постійного зберігання особистих автомобілів.

Планувальні характеристики стоянок (розмір машино-місця, ширина проїзду, радіуси поворотів) визначаються **схемою розміщення автомобілів**.

Машино-місце - площа, необхідна для встановлення одного автомобіля, що складається із площі горизонтальної проекції нерухомого екіпажа з додаванням розривів наближення (захисних зон) до сусідніх екіпажів або будь-яких перешкод. Розміри одного машино-місця на автостоянках зберігання середніх автомобілів (з врахуванням мінімально припустимих зазорів безпеки 0,5 м) - 2,5 × 5,3 м [38].

Залежно від **кількості місць зберігання** розрізняють автостоянки малої (до 50 машино-місць), середньої (від 50 до 300 машино-місць) та великої (більше 300 машино-місць) місткості.

Для **вуличних стоянок** використовують смуги ПЧ або спеціальні смуги для стоянки шириною 2,5–3,0 м (рисунок 4.2.39). На вулицях з незначною інтенсивністю руху ТЗ і пішоходів **автостоянки допускаються з заїздом на тротуар** (при цьому збільшується поперечний похил тротуару і зменшується висота бортового каменю до 5–10 см; вільна частина тротуару повинна мати ширину не менше 1,5 м).



Рисунок 4.2.39 – Вулична автостоянка в м. Париж (Франція)

(Джерело: <https://civitas.eu/sites/default/files>)

Зауважимо, що в американській літературі з організації руху зустрічається спеціальний термін, що стосується стоянки автомобілів біля тротуару – «зона впливу». Під ним розуміють вплив автомобілів, що маневрують в зоні дозволеної стоянки, у зв'язку з виїздом і вїздом на неї; ширина цієї зони в залежності від схеми розміщення автомобілів коливається в межах від 4,5 м до 8,0 м.

В свою чергу, вуличні стоянки (а також зупинки біля краю ПЧ) **забороняють**, якщо інтенсивність руху ТП в одному напрямку не менше значень, наведених в таблиці 4.2.7.

Таблиця 4.2.7 – Критерії щодо заборони вуличних стоянок (зупинок) на ВДМ [39]

Ширина ПЧ в одному напрямку, м	Інтенсивність руху ТП в одному напрямку, авт/год, при якій доцільна заборона:	
	стоянок	зупинок
4,1-4,6	680	850
6,1-8,0	1000	1250
8,1-10,0	1350	1700
10,1-12,0	1700	2150
12,1-14,0	2050	2250

Для інформування водіїв ТЗ про **заборону вуличної стоянки чи зупинки** на відповідній стороні ПЧ встановлюють ДЗ 3.34 «Зупинку заборонено» і 3.25 «Стоянку заборонено» [35]. Крім того, у всіх випадках заборони вуличних автостоянок доцільно встановлювати ДЗ 5.38 «Місце для стоянки» з додатковими табличками 7.1.3-7.1.4, які вказують місцезнаходження найближчих автостоянок.

Позавуличні автомобільні стоянки (паркінги) можуть бути улаштовані у вигляді окремих майданчиків або поширень вздовж магістральних вулиць, вздовж під'їздів до окремих будівель (рисунок 4.2.40). **Розміри їх планувальних елементів залежать від схеми розташування автомобілів.**

Автомобілі в межах автостоянки можна встановлювати **під різними кутами** (30°, 45°, 60°, 90° по відношенню до осі проїздів). При розміщенні ТЗ під кутом 45° найлегшим є їх в'їзд та виїзд, при розміщенні під кутом 90° – досягається найбільша місткість стоянки. При виборі способу розміщення автомобілів також слід враховувати **час паркування** – чим він менший, тим меншим (для зручності маневрів і більшої безпеки) має бути кут розміщення (для короткочасного збереження 0-30°, для середнього терміну – 30–60°, для тривалого збереження – 30–90°).



Рисунок 4.2.40 – Облаштування позавуличної автостоянки
(Джерело: <https://auto.today/bok>)

Мінімальна ширина проїздів на позавуличних автостоянках з одностороннім рухом має складати 3,5 м, на стоянках з двостороннім рухом – 6,0 м; радіуси поворотів (заокруглення бортового каменю) - не менше ніж 6,0 м [2].

Основні вимоги до розміщення і планування автомобільних стоянок (паркінгів)

Загальні вимоги, які повинні враховуватися при **виборі місця розташування і планування автостоянки**, зводяться до забезпечення мінімальних перешкод для ТП при в'їзді на стоянку і виїзді з неї, зручності та безпеки користування стоянками водіями і пасажирами автомобілів. Задоволення останньої вимоги залежить від близькості стоянки до основного об'єкта тяжіння, а також наявності безпечних пішохідних шляхів між ним та стоянкою. При виборі місця для стоянки слід враховувати також характер місцевих умов (видимість, інтенсивність руху пішоходів і ТЗ, склад потоку) і, за необхідності, коригувати їх розташування.

Згідно з загальними рекомендаціями [13]:

- використання доріжок, тротуарів та пішохідних і зелених зон для стоянки АТ допускається;
- у найкрупніших, крупних та великих містах кількість та впорядкування машино-місць для тимчасового зберігання автомобілів повинна зменшуватися у напрямку від периферії до загальноміського центру.

Для забезпечення вільного і безпечного руху ТЗ в місті необхідно **максимально звільняти всю площу ПЧ від будь-яких перешкод**. Тому **вуличні автостоянки необхідно всіляко обмежувати** (наприклад, на ділянках з інтенсивним рухом в центральних частинах сучасних міст). Якщо ж можливості влаштувати позавуличні стоянки (паркінги) немає, у разі **устрою смуг (зон) для паркування в межах ПЧ** необхідно звертати увагу на наступні умови:

- улаштування таких смуг (зон) не повинно спричинити зменшення кількості смуг ПЧ, необхідних для вільного пропуску ТП;
- на магістральних вулицях улаштування таких смуг (зон) не допускається; у разі розміщення автостоянок на вулицях місцевого значення необхідно, щоб з боків залишалися вільними проїзди, шириною не менше двох смуг в кожному напрямку;
- ширина смуг (зон), призначених для установки автомобілів під гострим або під прямим кутами відносно осі вулиці, повинна визначатися з таким розрахунком, щоб вони не заважали руху транспорту, що проходить;
- при улаштуванні автостоянок вздовж тротуарів або по осі ПЧ транспортно-пішохідних вулиць необхідно через кожні 50 м передбачати спеціально позначені пішохідні проходи шириною не менш ніж 5 м;
- біля перехресть і примикань не допускається улаштування автостоянок в межах зовнішнього трикутника видимості;
- у зоні зупинок МГТ улаштування автостоянок не дозволяється (в межах ділянок розташування посадочних майданчиків і на підходах до них);

- межі смуг автостоянок повинні бути чітко позначені.

Порівняння розміщення місць на вуличній автостоянці показує, що розташування автомобілів під кутом 90° чи 60° відносно краю ПЧ (тротуару) дає змогу вдвічі та більше підвищити число місць для паркування у порівнянні з традиційним розміщенням ТЗ паралельно тротуару (рисунок 4.2.41).

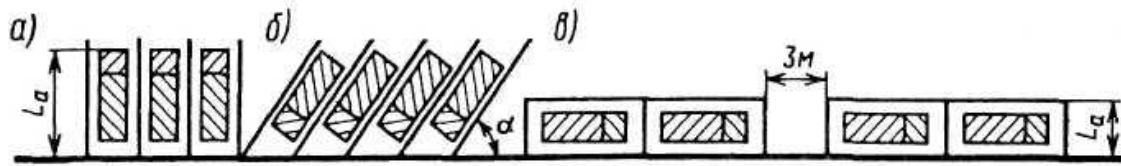


Рисунок 4.2.41 – Варіанти розміщення ТЗ на вуличній автостоянці (Джерело [2])

Зауважимо, що розміщення ТЗ під кутом до тротуару можливо лише на просторах майданчиках або при наявності локального розширення ПЧ, коли найближча смуга руху віддалена від краю тротуару на відстань не менш ніж $L_a + 2$ м (L_a - ширина зони, яку буде займати ТЗ при обраному варіанті свого розміщення).

При розташуванні автомобілів під кутом 90° чи 60° вони можуть бути обернені до тротуару передньою чи задньою частиною кузова. Більш доцільним є перший варіант, при якому в'їзд на вільне місце здійснюється без маневрування і створює менше перешкод для руху іншим ТЗ, а відпрацьовані гази двигуна менше діють на пішоходів: недоліком такого способу є більші витрати часу на виїзді зі стоянки.

У відповідності з вимогами [7], на магістральних вулицях регульованого руху та вулицях місцевого значення **автостоянки тимчасового зберігання** дозволяється розміщувати:

- на додаткових (резервних) смугах ПЧ, що мають ширину не менше ніж 3,0 м, вздовж ПЧ;
- у «кишенях» (місцевих розширеннях ПЧ за рахунок смуги озеленення або тротуару, за умови забезпечення його пропускнуої здатності, залежно від прийнятої схеми розташування ТЗ), що відокремлені від основної ПЧ дорожньою розміткою;
- на розділових смугах між основною ПЧ та місцевими проїздами, якщо ширина смуги не менше 5,5 м, між ПЧ і тротуаром;
- поза межами основної ПЧ вулиць, доріг та тротуарів на відокремлених від них огороженням або розміткою та позначених відповідними ДЗ ділянках.

Важливою умовою ефективності функціонування **позавуличної автостоянки**, окрім схеми та способу розташування ТЗ, також є **раціональна організація руху на території** такої стоянки.

Залежно від конфігурації та розмірів території автостоянки, а також організації в'їзду – виїзду, може бути прийняте одно- та багаторядне розміщення ТЗ з їх розташуванням з одного боку проїзду чи уздовж обох протилежних його боків, паралельно, перпендикулярно або під кутом до поздовжньої осі проїзду. При цьому повинна бути дотримана вимога раціонального використання відведеної території, забезпечення БР транспорту та пішоходів (розділення напрямків їх руху) у межах ділянки і на прилеглих вулицях та проїздах (рисунок 4.2.42). [38]

Розташування в'їздів і виїздів на позавуличних стоянках повинне визначатись таким чином, щоб автомобілі, які знаходяться на ПЧ в очікуванні можливості в'їзду на стоянку, не створювали значних перешкод для руху основного потоку. Для уникнення затримок і поліпшення умов БДР бажано застосовувати розосереджені в'їзди і виїзди, при цьому не влаштовувати їх в місцях обмеженої видимості, на внутрішній смузї кривої в плані, поблизу від перехресть та пішохідних переходів . Також слід знайти можливість організації в'їзду-виїзду на майданчики для тимчасової стоянки з другорядних вулиць та проїздів, щоб не створювати потенційних конфліктів на магістралях.



Рисунок 4.2.42 – Приклад облаштування позавуличної платної автостоянки малої місткості (Джерело: <https://overlook.expert>)

Деякі інші вказівки щодо організації руху на таких стоянках визначені вимогами [38]:

- рух автомобілів по території автостоянки необхідно передбачати одностороннім, а при місткості стоянки більше 100 машино-місць - без зустрічних потоків і таких, що пересікаються (зустрічний і перехресний рух автомобілів допускається при їхній інтенсивності не більше 5 одиниць за годину);

- автостоянки для постійного та тимчасового зберігання більше 50 автомобілів повинні мати не менш двох в'їздів-виїздів: один для регулярного руху (головний), інші - для аварійної евакуації автомобілів (останні можуть виходити на внутрішньо-квартальні проїзди житлового району);

- за малої місткості автостоянки (до 50 місць) допускається об'єднаний в'їзд-виїзд завширшки не менш ніж 4,5 м; на автостоянках більшої місткості в'їзд і виїзд повинні бути розосередженими;

- в'їзди і виїзди з автостоянок (ворота, шлагбаум) повинні розташовуватися з відступом від краю ПЧ на відстань не менше 6,0 м.

- перед воротами, що забезпечують в'їзд до великих автостоянок для постійного та тимчасового зберігання автомобілів, потрібно влаштовувати накопичувальні майданчики, виходячи з розрахунку 10% кількості ТЗ, що прибувають на автостоянку в годину "пік";

- мінімальною відстанню від в'їздів на автостоянку та виїздів з неї повинно бути: від перехресть магістральних вулиць загальноміського та районного значення (від межі ПЧ) - 100 м; від перехресть вулиць і проїздів місцевого значення (від межі ПЧ) – 35 м; від зони зупинки МГТ – 30 м;

- примикання в'їздів-виїздів автостоянок до магістралі загальноміського значення допускається лише до її місцевих проїздів;

- при в'їзді на велику тимчасову автостоянку встановлюється щит зі схемою руху автомобілів, планом термінової їхньої евакуації, нумерацією місць, інформацією про режим роботи стоянки та тарифи за надання послуг.

Використання автомобільних стоянок як інженерно-планувальний захід ОДР

Дотепер при розгляді проблеми паркування ТЗ переважає чисто **містобудівний підхід**, тобто автостоянка розглядається як місце збереження ТЗ, а її місткість залежить від загальної кількості мешканців того району (території) міста, де вони мешкають чи працюють (або ж кількості відвідувачів того чи іншого закладу), та загальної кількості АТЗ, що зареєстровані у ньому (тобто відповідного рівня автомобілізації).

На нашу думку, якщо використовувати лише такий підхід, то проблему «транспорту, що стоїть» вирішити практично неможливо. Тому пропонується розглянути **використання автомобільних стоянок як інженерно-планувальний захід ОДР**, при якому необхідна кількість стоянок на

досліджуваній території міста визначається як засіб **поліпшення умов руху ТП та ПП** [1].

На першому етапі реалізації вищевказаного підходу визначають **«транспортні райони»** – обмежені ділянки ВДМ міста, на яких транспортна ситуація склалася таким чином, що введення стоянок як заходу з ОДР необхідне та виправдане з соціально-економічної точки зору. **Математична модель** такого району у загальному вигляді може бути записана таким чином:

$$T = f(N_c, V_c, Z), \quad (4.2.1)$$

де N_c – сумарна інтенсивність руху ТП на основних магістралях району в годину „пік”; V_c – середня швидкість руху ТП на цих магістралях; Z – коефіцієнт завантаження рухом магістральної мережі району.

Якщо вважати автостоянку **системою, що задовольняє попит на паркування ТЗ**, то сукупність таких стоянок загалом для «транспортного району» можна розглядати як **багатоканальну систему масового обслуговування**, в якій кожна стоянка є **каналом обслуговування**, а кількість місць на стоянці, спосіб постановки автомобілів на ній і т.п. – **параметрами цього каналу**.

Для спрощення задачі будемо вважати, що всі канали ідентичні, а їх параметри є середніми значеннями відповідних величин. У результаті в межах кожного конкретного «транспортного району» одержуємо якусь «усереднену» стоянку, для вибору якої можна використати такі критерії:

- кількість місць тяжіння ТЗ (n_T);
- середня відстань між цими місцями ($l_{ср}$) або «умовна щільність району» (відношення кількості місць тяжіння до загальної площі району (F)):

$$K = \frac{n_T}{F}; \quad (4.2.2)$$

Використовуючи математичний апарат теорії масового обслуговування, **середня кількість стоянок** (n_C), що необхідні для обслуговування «транспортного району», розраховується таким чином:

$$n_C = \frac{N \cdot P \cdot Z^m}{(m-1)!(mP-N)^2} \cdot P(0) + Z, \quad (4.2.3)$$

де N – інтенсивність руху ТП (середнє значення за годину «пік»); P – середнє

значення пропускну́ї здатності ВДМ; Z – коефіцієнт завантаження рухом; m – кількість смуг руху (середнє значення); $P(0)$ – імовірність наявності на стоянці вільних місць (задається, виходячи з того, який рівень комфортності потрібний).

Приймаючи, що кожне місце на автостоянці є каналом обслуговування, а сама стоянка – системою в цілому, **середній час знаходження автомобіля на стоянці** (час паркування t_c) можна визначити за формулою:

$$t_c = \frac{P \cdot Z^m}{(m-1)!(mP-N)^2} \cdot P(0) + \frac{1}{P}, \quad (4.2.4)$$

В свою чергу, **ефективність функціонування стоянки** можна оцінити величиною **середнього часу очікування водіями вільного місця на стоянці** (t_o) (необхідно прагнути, щоб величина цього часу була якомога меншою):

$$t_o = \frac{P \cdot Z^m}{(m-1)!(mP-N)^2} \cdot P(0), \quad (4.2.5)$$

На другому етапі реалізації підходу, що розглядається, «транспортний район» розподіляють на «**транспортні зони**» – частини району, що визначаються одним центром концентрації АТ чи поєднанням декількох таких центрів.

Для **якісної оцінки** кожної «транспортної зони» використовують два основні **критерії**:

- **характер змін інтенсивності руху ТП в протягом доби** (розрізняють зони сталого типу, одно- та двопікові, реверсивні та змішані);
- **середня тривалість знаходження автомобілів на стоянці** (тип 1-й – основна маса ТЗ не затримується в зоні більше однієї години; тип 2-й – основна маса автомобілів знаходиться в зоні від 8 до 10 годин; тип 3-й – змішаний (через велику різницю в часі паркування у всієї маси автомобілів)).

Таким чином, якщо розглядати процес використання автостоянок в межах певного району (території) міста як інженерно-планувальний захід ОДР та задавати різні стартові умови (зокрема, з урахуванням типу кожної «транспортної зони»), то можна забезпечити **різні рівні зручності та комфортабельності руху**. В якості показників стартових умов можна прийняти середню кількість зайнятих на стоянці місць (n_3) та середню відстань від місця паркування ТЗ до цілі руху водія (l_c).

Рішення проблеми паркування можливо двома способами:

- спосіб «знизу вверху»: задавши необхідні значення та йдучи по ланцюжку

«транспортна зона» (параметри, межі) – «транспортний район» (параметри, межі).

- спосіб «зверху донизу»: по ланцюжку «транспортний район» (межі, параметри) – «транспортна зона» (межі, параметри) – місце паркування.

Організація перехоплюючих автостоянок (система паркування «Park&Ride»)

Збільшення кількості особистих легкових автомобілів призвело до загострення проблем з паркуванням ТЗ у переважній більшості сучасних міст-мільйонників (насамперед – в їх центральних районах, де вільна незабудована територія складає не більше 10–15 % загальної площі). Одним з принципових підходів до вирішення цієї проблеми є збільшення частки користування населення МГТ, а одним з методів ефективної практичної реалізації цього принципу в сучасних містах – організація т.з. **перехоплюючих автостоянок**.

Перехоплююча автостоянка (система «Park&Ride») – автостоянка, сполучена з терміналом (станцією) МГТ, що дозволяє жителям приміської зони та іншим людям вирушати в центр міста, полишивши на такій стоянці свої особисті автомобілі, та пересівши на МГТ (метро, автобус, маршрутне таксі, тощо) на решту подорожі; автомобілі зберігаються на стоянці протягом дня і забираються власниками на зворотньому шляху. Основними **перевагами** систем «Park&Ride» є: зручність використання та розташування біля транспортних вузлів; доступна ціна; постійна охорона; уникнення надмірного стресу через їзду перевантаженими вулицями; уникнення труднощів і витрат часу на паркування через дефіцит парковок у центрі міста; можливість надання послуг власникам ТЗ на альтернативних видах палива [40]. Загальну схему взаємодії перехоплюючої автостоянки з МГТ показано на рисунку 4.2.43.

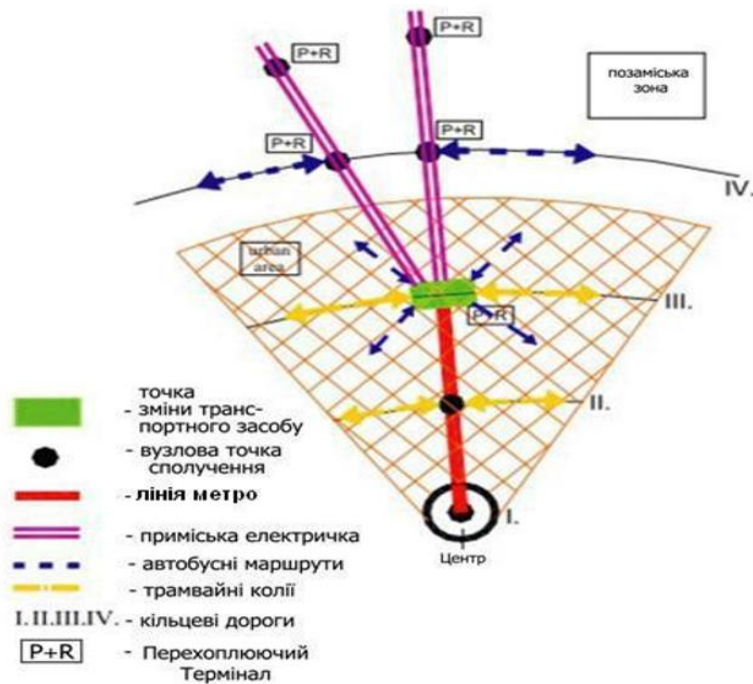


Рисунок 4.2.43 – Схема взаємодії перехоплюючої автостоянки з ГТ (Джерело: [41])

Загальними **стратегічними цілями** при організації перехоплюючих автостоянок є зменшення попиту на довгострокове паркування у центрі міста, зменшення транспортних заторів на ВДМ центральної частини міста і на магістральних вулицях, що ведуть до неї, покращення доступності різних точок центральної частини, а також поліпшення екологічної ситуації у місті в цілому через зменшення шуму та забруднення повітря.

Зазначимо, що такі автостоянки потребують специфічного проектування за такими основними **принципами** [39, 40]:

- максимальна відстань від терміналу (станції) МГТ – 300 м;
- можливість висадки пасажирів з ТЗ, достатня кількість місць для паркування (не менш ніж 400), наявність стелажів із замками для велосипедів;
- зручність придбання квитків на МГТ;
- зрозуміла та своєчасна інформація про МГТ (наявні сервіси та тарифи, інформація про розклад та графіки руху в реальному масштабі часу);
- добра освітленість, безпечність і чітке маркування пішохідних/веломаршрутів до (від) сусідніх житлових або бізнес-центрів.

В містах Європи накопичено значний досвід щодо організації комбінованих поїздок (особистий автомобіль + ГТ) з використанням перехоплюючих стоянок; загальна місткість таких стоянок досить часто перевищує 10 тис. машино-місць. При цьому, наприклад, організація системи паркування «Park&Ride» на підходах до центральної частини м. Амстердама (Нідерланди) дає змогу кожному жителю

в онлайн-режимі промоніторити розташування таких автостоянок та отримати інформацію про доступну кількість вільних місць (рисунок 4.2.44).

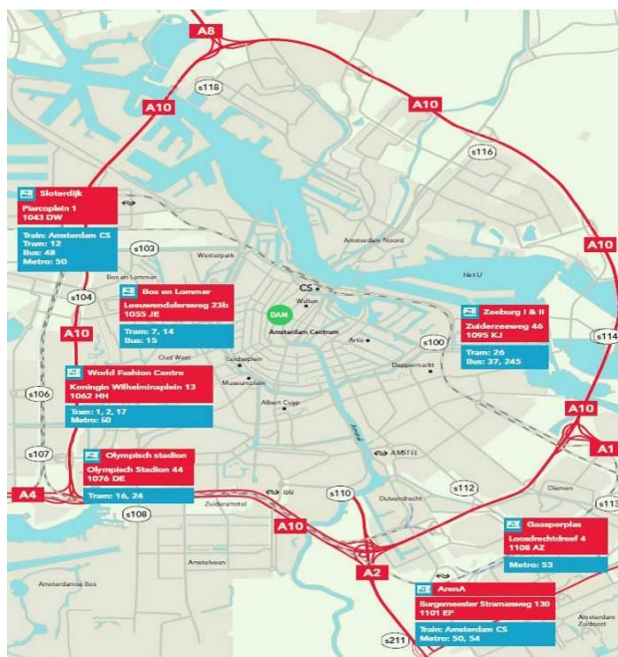


Рисунок 4.2.44 – Схема розташування перехоплюючих автостоянок в м. Амстердам (Джерело: [42])

Паркування в центрі цього міста обійдеться власникам особистих легкових автомобілів набагато дорожче, ніж на його околицях (середня вартість денного паркування в центрі становить € 60÷80, в той час як на перехоплюючій автостоянці – всього € 8). До того ж, скориставшись такою стоянкою, водій та пасажери легкового автомобіля (до 5 осіб) отримують безкоштовні квитки на проїзд МГТ до місця роботи та назад. Тим самим влада міста заохочує людей використовувати для переміщення в центральну частину саме ГТ [41].

Відомо, що однією з транспортних проблем м. Києва є те, що значна частка трудових поїздок на ВДМ міста здійснюється мешканцями міст-супутників на особистих легкових автомобілях (так, за даними [43], лише в ранковий період «пік» в місто в'їжджає близько 100 тис. АТЗ, більшість з яких (близько 70 тис.) складають легкові автомобілі (рисунок 4.2.45)).

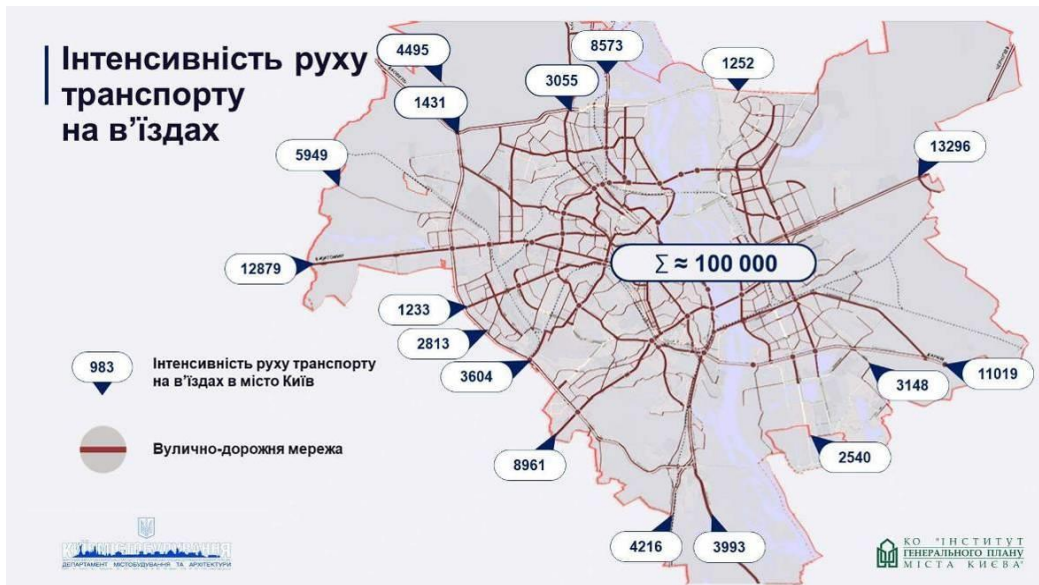


Рисунок 4.2.45 – Інтенсивність руху АТ на в'їздах в м. Київ в ранковий період «пік», од./год (Джерело: [44])

З метою обґрунтування доцільності влаштування перехоплюючих автостоянок проводився експеримент по визначенню загальних витрат часу пасажирів–мешканців приміської зони (м. Боярки) при їх переміщеннях в ранкові періоди «пік» в центральну частину м. Києва (маршрут руху: пр–т Глушкова – пр–т Голосіївський – вул. В.Васильківська – вул. Хрещатик – Поштова площа) [45].

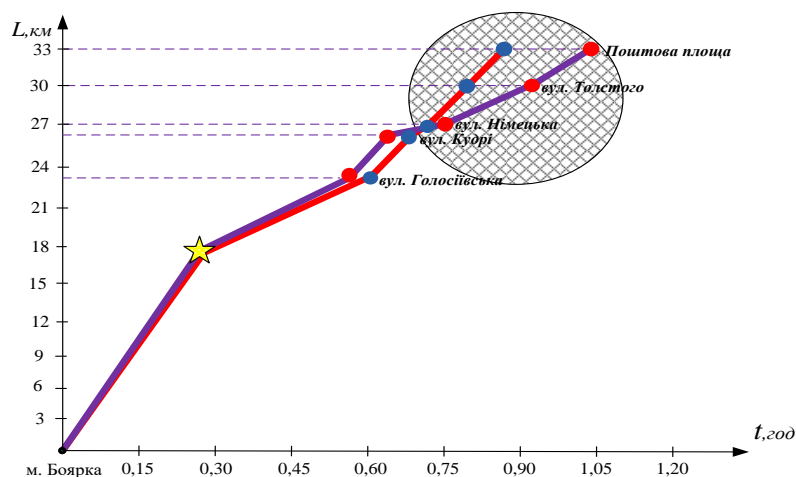
Були розглянуті два варіанти вказаних переміщень: при використанні на всьому шляху слідування особистого легкового автомобіля, а також комбінована поїздка (особистий автомобіль+метрополітен) з використанням перехоплюючої автостоянки біля станції метро «Іподром» (пр–т Глушкова). Загальна довжина проїзду по ВДМ м. Києва складала близько 16 км.

Загальні витрати часу при комбінованій поїздки ($T_A + T_{\Pi}$) визначались як сума таких складових:

$$T_A + T_{\Pi} = t'_A + t'_{AO} + t'_{\Pi\Pi} + t_{оч} + t_o + t''_{\Pi\Pi}, \quad (4.2.6)$$

де t'_A – час поїздки до перехоплюючої автостоянки; t'_{AO} – час паркування; $t'_{\Pi\Pi}$ – час пішого підходу до станції метро «Іподром»; $t_{оч}$ – час очікування поїздки на цій станції; t_o – час руху в метрополітені; $t''_{\Pi\Pi}$ – час пішогохідного руху від станції метро «Поштова площа» до місця призначення.

Як показав аналіз отриманих результатів (рисунок 4.2.46):



Умовні позначення:

- - легковий транспорт + громадський транспорт (метрополітен)
- - легковий транспорт;
- ★ - місце пересадки на МПТ;
- ▨ - центр міста

Рисунок 4.2.46 – Витрати часу на окремих етапах маршруту м. Боярка – м. Київ (Поштова площа) (Джерело: [45])

– середні витрати часу на проїзд від станції метро «Іподром» до Поштової площі при використанні особистого транспорту склали близько 0,75 год, в той час комбінована поїздка тривала близько 0,58 год, тобто **використання позавуличного МПТ (метрополітену)** як альтернативи особистому транспорту в загальному випадку дозволяє пасажиром зменшити витрати часу та, що є не менш важливим, суттєво підвищити **гарантії своєчасності здійснення поїздки**;

– очікувані витрати коштів на переміщення до центру міста та наступне повернення назад (з урахування вартості палива на індивідуальну поїздку, вартості 12-ти годинного паркування та проїзду в метрополітені) навіть без врахування ймовірних витрат на паркування особистого легкового автомобіля в центральній частині (яке априорі має бути дорожчим, ніж його перебування на перехоплюючій стоянці) при переміщенні по комбінованій схемі є, як мінімум, вдвічі меншими, а тому **використання ГТ при русі по місту, незалежно від району розташування, буде економічно вигіднішим.**

За результатами досліджень, проведених в США, було розраховано ймовірність користування перехоплюючими автостоянками власниками особистих легкових автомобілів, яка залежить від відношення показників часу руху по маршруту при повному використанні цих автомобілів до витрат часу на комбіновану поїздку. Було встановлено, наприклад, що при тривалості комбінованої поїздки в 1,5–1,6 рази довше порівняно із індивідуальною

поїздкою, ймовірність користування такою автостоянкою складе лише 7 %, проте якщо комбінована поїздка буде вдвічі швидшою, то вказана ймовірність теоретично може становити 100% [46].

Визначені за такою методикою ймовірності в межах досліджуваного маршруту проїзду по м. Києву залежать від розташування кінцевого пункту переміщення пасажирів і становлять від 40–50 % (можливі об'єкти на Голосіївському пр-ті та вул. В. Васильківській) до 80–90 % (вул. Хрещатик, Поштова площа), тобто **ймовірність використання системи «Park&Ride» суттєво збільшується при здійсненні поїздок в центральну частину на відстань більш ніж 10 км, а також за умови можливості використання метрополітену.**

Основні принципи транспортної політики в містах, зручних для життя, та практичні наслідки реалізації такої політики в США

Досвід, накопичений за 100 років присутності автомобіля в місті, показує: **міста (навіть найстаріші) можуть адаптуватися практично до будь-якого рівня автомобілізації.** Позначку в 500–600 автомобілів на 1000 жителів подолали сьогодні міста всіх країн з високим рівнем доходів населення, а «світовий рекорд» давно перевищив позначку в 900 автомобілів.

Зрозуміло, що ніякого **безкоштовного транспортного щастя (і тим більше - транспортної свободи) при цьому ніде вже не спостерігається**, проте міста залишаються більш-менш зручними для життя, а мобільність містян підтримується на рівні відповідних базових вимог. В свою чергу, для досягнення останніх необхідно жорстко дотримуватися **принципових рекомендацій**; найбільш зрозумілі та ефективні з них стосуються не руху автомобілів, а їх зберігання та паркування (оскільки 90 % і більше часу основна маса АТЗ в містах не рухається, а стоїть) [10].

Принцип № 1. Пішохід є важливішим за автомобіль. Велосипедист є важливішим за автомобіль. Маршрутний автобус чи трамвай важливіший за автомобіль. Всі автомобілісти рівні. Автомобіль, який рухається, важливіший за той, що припаркований (перший виконує корисну транспортну роботу, другий – ні) (рисунок 4.2.47).

ПІШОХОДИ

ГРОМАДСЬКИЙ ТРАНСПОРТ

ВЕЛОТРАНСПОРТ

ЛОГІСТИКА І ДОСТАВКА

АВТОМОБІЛІ

ПРИПАРКОВАНІ АВТОМОБІЛІ

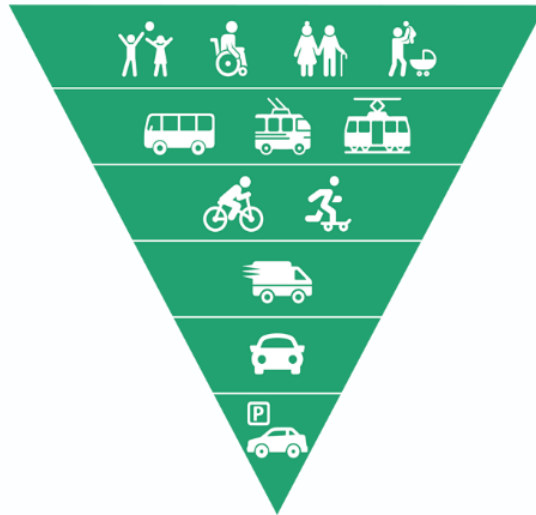


Рисунок 4.2.47 – Пріоритети транспортної політики в сучасних містах
(Джерело: <https://mobilitylviv.com/challenges>)

Відповідно, паркування неможливе на тротуарі, у дворі (якщо він не перебуває у вашій приватній власності), і, зрозуміло, скрізь, де припаркований автомобіль може хоч чимось заважати руху інших автомобілів та пішоходів, а також роботі МГТ.

Принцип № 2. Жоден мегаполіс світу не обходиться без чіткої функціональної диференціації ВДМ.

Перший, базовий контур – це **вулиці**. Тут господар – пішохід, якому потрібно спускатись під землю лише для входу в метро, але не для переходу через ПЧ. Швидкості руху автомобілів жорстко лімітовані (не більше 30 миль/год) та світлофори на кожному кроці.

Другий контур – це мережа **міських швидкісних магістралей (freeway)**, траси яких проходять поза межами забудови, виключними користувачами яких є автомобілісти; швидкості тут високі (до 100 миль/год); примикання – рідкісні та правильно облаштовані; пішоходів, велосипедистів, світлофорів та зупинок МГТ немає взагалі (рисунок 4.2.48). Характерні для великих міст колишнього СРСР **багатосмугові проспекти і бульвари**, які являють собою гібриди вулиць та швидкісних доріг, зустрічаються також у містах США та Західної Європи, проте у всіх випадках **вважаються вимушеним поганим рішенням**.



Рисунок 4.2.48 – Швидкісна магістраль в м. Бостон (США)
(Джерело: <https://ruherald.com>)

Принцип № 3. Кожен шматок міського простору—вулиці, проїзду, тротуару, двору – має власника (муніципалітет; власник будинку; власники квартир, об'єднані в кондомініум). Паркування, яке не санкціоноване власником, є правопорушенням. Зокрема, на муніципальній території можна припаркуватися тільки там, де це дозволено відповідними знаками і покажчиками, а також зазначений паркувальний тариф і форма оплати.

Принцип № 4. Паркування за небагатьма виключеннями є платним. Плата за паркування прогресивно збільшується при наближенні до міського центру.

Наприклад, за даними дослідження аналітиків платформи Parkopedia, середній тариф за 1 годину паркування в центрі м. Нью-Йорка складає \$27, середня вартість денної стоянки в місті - \$42,25, а середній показник вартості паркування протягом місяця — \$616 за незарезервоване місце [47].

Хоча практичні наслідки реалізації концепції «міста, зручного для життя», є вельми різними для міських центрів і периферії міста, можна виділити наступні загальнопоширені для міст США **практики, пов'язані з організацією стоянок.**

1. У містах та особливо в їх центральних частинах **автомобілі не стоять на ПЧ** (насамперед – на головних вулицях); стоянка заборонена, зупинка тільки для висадки пасажирів (принцип kiss-and-ride). Звична для нас **стоянка автомобілів на тротуарах блокується** або нескладними технічними пристроями, або адміністративними заборонами під загрозою величезних штрафів.

2. Громадяни, які доїхали на своїх автомобілях до центру, **орендують на умовах погодинної оплати або місячного абонементу паркувальні місця (лоти)** в спеціалізованих позавуличних паркінгах, або ж на крайніх смугах другорядних вулиць і проїздів. **Паркувальні тарифи** в центральних ділових

районах (Central Business District – CBD), як правило, **надзвичайно високі** (наприклад, на Манхеттені (Нью-Йорк) місячний паркувальний квиток, не маючи якого ви запросто не знайдете жодного вільного місця для парковки, коштує від \$800 до \$1500).

3. Приблизно до середини 1970-х років урбаністи і транспортники в містах Західної Європи вважали, що треба збільшувати паркувальні потужності в CBD, оскільки це допомагає звільненню вулиць від автомобілів, що стоять. Відповідно, муніципалітети будували паркінги за рахунок міського бюджету, та ще вимагали від бізнесу, щоб паркувальні місця закладалися в максимально можливих кількостях в проекти будь-яких новобудов ділового, торгового, розважального та іншого громадського призначення. Проте вже з середини 1970-х років стало зрозуміло, що потоку автомобілів, влаштованого за принципом «один службовець – один автомобіль», «один покупець – один автомобіль», жоден CBD з щільною багатоповерховою забудовою просто не витримає, а тому у громадській свідомості був зроблений висновок про те, що **зручні та доступні паркінги в CBD - це сигнал для жителя міста приїжджати в центр на особистому автомобілі.**

Після цього міська транспортна політика змінилася докорінно: **кількість паркувальних лотів в CBD стали лімітувати не за необхідним мінімумом, а за дозволеним максимумом.** Ідея полягала в тому, щоб довести до кожного жителя міста просту думку: автомобіль в центрі припаркувати важко і дорого, сюди треба приїжджати на МГТ, на таксі, з найманим водієм або з іншим попутником за кермом, який тебе доведе і негайно виїде кудись подалі від центру. Ця парадигма з'явилася приблизно 30–40 років тому в Старому Світі – і в Канаді, і в США кількість паркувальних лотів в центрі міста лімітують, роблять їх дорогими і важкодоступними.

4. **Корпоративні стоянки** розташовані зазвичай в підземних поверхах офісної будівлі або на прилеглий до неї території (якщо вона викуплена корпорацією у міста). Тут завжди є паркувальні лоти для інвалідів, старших посадових осіб і VIP-гостей. В принципі, тут же можуть знайтися вільні місця і для пересічних автомобілістів, але з цього приводу є серйозні обмеження, що впливають з місцевого законодавства, яке часто змушує роботодавців не дуже заохочувати використання найманим персоналом власних АТЗ (як наслідок, основна частина цього персоналу користується МГТ чи навіть велосипедом). Абсолютна більшість городян потрапляє в CBD на своїх автомобілях лише «по великих святах».

5. **Клієнтські стоянки** призначені для користувачів деяких (далеко не всіх) готелів, ресторанів, магазинів, банків; стоянка значної місткості є неодмінним атрибутом великих торгових і розважальних комплексів. Такі паркінги –

номінально безкоштовні, фактично – враховані в чеку відвідувача (критики такої практики не розуміють, чому в оплаті місця на стоянці, наданого покупцю-автомобілісту, повинен пайовою чином брати участь покупець, який приїхав в той же магазин на МГТ?). Звична для міст України **практика організації клієнтських парковок прямо на ПЧ центральних вулиць категорично неможлива**: ПЧ – територія загального користування, до якої міська влада та мешканці/виборці ставляться дуже прискіпливо.

6. **Місця (лоти) для стоянки біля тротуару** можуть працювати в режимі тих же загальнодоступних паркінгів, проте вони неодмінно мають бути обладнані **паркоматами**, які з'явилися в США ще в 1935 році. Після широкого впровадження таких пристроїв люди-паркувальники збереглися хіба що в містах країн третього світу. Одночасно з'явилися (в набагато меншій кількості) **муніципальні паркувальні поліцейські**, які звіряють номер автомобіля з показаннями паркомата, виписують штрафну квитанцію і (або) викликають евакуатор (рисунок 4.2.49). У містах Європи також бувають **лоти біля тротуару, які постійно закріплені за жителями навколишніх будинків** (про це попереджають відповідні таблички і написи на ПЧ).

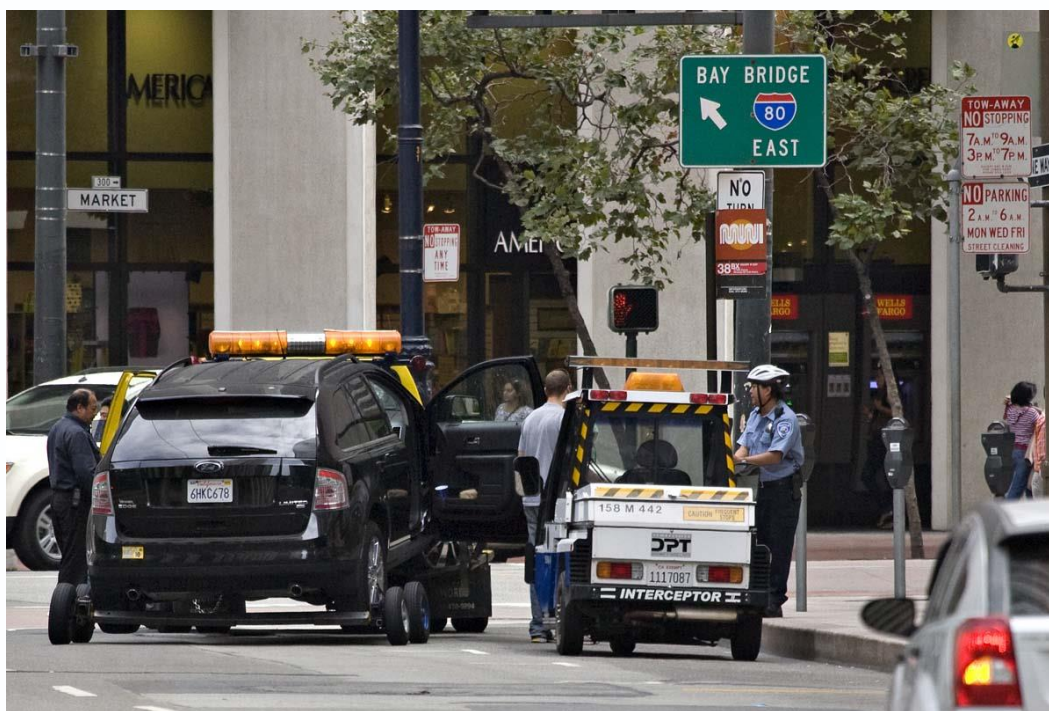


Рисунок 4.2.49 – Муніципальні паркувальні поліцейські у м. Сан-Франціско (США) (Джерело : <http://sfcitizen.com/blog/wp-content>)

7. У багаторівневих паркінгах великої місткості плата за 8-годинну стоянку зазвичай є значно нижчою, ніж за 8 стоянок по одній годині, тобто тут діє типова оптова знижка. **Стоянка біля тротуару** (якщо вона дозволена в

принципі) тарифікується протилежним чином: плата за 8-годинну стоянку іноді буває суттєво вищою, ніж за 8 стоянок по одній годині. Цінова політика в усіх випадках сформована таким чином, щоб **середній городянин міг припаркувати свій автомобіль в центрі міста за нагальної потреби, але не мав фінансової можливості зробити це щоденною нормою.**

8. Після впровадження в управління міським господарством сучасних інформаційних технологій **всі загальнодоступні паркувальні лоти були об'єднані в єдиний «паркувальний online-простір».** У сукупності з популярними з початку 1990-х років системами маршрутного орієнтування це дозволяє заздалегідь інформувати водія про прогнозовану (з урахуванням часу прибуття керованого ним АТЗ до місця призначення) наявність і дислокацію вільних паркувальних лотів.

9. **Всі об'єкти малоповерхової забудови (окремі будинки і таун-хауси) будуються і продаються виключно з вбудованими гаражами на 1–2 місця;** ще пара автомобілів може розміститись у приватному дворі чи на ділянці вулиці, що розташована безпосередньо навпроти фасаду такого будинку. Таку модель забудови називають такою, що орієнтована на використання автомобілів (COD – car oriented development); пішохідна доступність ліній наземного МГТ тут зовсім не гарантована.

10. У всіх багатоповерхівках (в т.ч. у кондомініумах (condo) та дохідних будинках (rentals)) обов'язковою є **підземний паркінг з певною надлишковою кількістю місць** (зазвичай 250 лотів на 100 квартир). У дворах таких будинків також є, як правило, кілька паркувальних лотів – це гостьові парковки, а також місця стоянки для комунального транспорту. При цьому не тільки урбаністи-теоретики, але також девелопери і пересічні городяни з повною підставою вважають, що **багатоповерхова забудова за визначенням орієнтована на переважне використання МГТ** (т.з. модель TOD – transit oriented development).

11. Біля станції метрополітену (або міської залізниці), що примикає до зони масової житлової забудови, як правило, організовується перехоплюючі стоянки (паркінги). Їх наявність забезпечує найширше використання **технології park-and-ride.** Лот на такому паркінгу в рази дешевший, ніж в зонах загального користування: тариф за денну стоянку може бути включений в ціну проїзного квитка на МГТ.

12. Суттєва диференціація паркувальних тарифів в центрі і на периферії стала для ряду європейських міст (Лондон, Мілан, Стокгольм) свого роду психологічною підготовкою жителів до **введення схеми платного доступу до центру міста.**

13. Ще один спосіб розвантаження центральних вулиць міста і паркінгів - **технологія car pool,** коли кілька осіб (сусідів, колег) кооперуються для поїздки

в центр на одному автомобілі. Крім очевидної економії коштів за паркування, вони інколи отримують право користування **пріоритетними смугами, виділеними для МГТ** (знаки пріоритетного доступу «2+» або «3+» відображають місцеві уявлення про те, який автомобіль можна вважати таким, що використовується для колективних поїздок); зауважимо, що такі знаки ставляться лише на швидкісних дорогах безперервного руху.

14. На периферії міста паркомати чи інші технічні пристрої зазвичай не встановлюють. Будь-який вільний лот, позначений на крайній смузі місцевого проїзду відповідним знаком (табличкою), можна використовувати, придбавши **дозвіл (permit)** із зазначенням оплаченого часу та визначеного (з точністю до мікрорайону) місця стоянки.

*Паркувальна політика та організація паркувального простору
в містах Західної Європи [01]*

Паркувальна політика та організація паркувального простору є одним з важливих напрямків сучасної транспортної політики в містах Західної Європи. Базовими інструментами політики створення **системи єдиного паркувального простору (ЄПП)** в містах є:

- **фінансові заходи** (такі, що орієнтовані на економічний вплив - тарифи і штрафи);
- **адміністративні заходи** (наприклад, заборона на паркування або обмеження дозволеного часу паркування);
- **містобудівні заходи** (регулювання нормативів з проектування стоянок, їх місткості при новому будівництві)
- **інші заходи** (зокрема, встановлення фізичних бар'єрів (огорожень), впровадження методів альтернативного використання паркувального простору, розвиток і популяризація ГТ, велосипедів і мотоциклів і т.д.).

Правовими схемами створення об'єктів ЄПП можуть бути:

- передача відповідних функцій і повноважень бюджетній (комунальній) установі, яка за допомогою розміщення муніципального замовлення буде забезпечувати створення і експлуатацію зазначених об'єктів;
- залучення до реалізації проектів ЄПП приватних партнерів на конкурсних засадах.

Аналіз досвіду європейських країн свідчить, що введення систем ЄПП (насамперед – **створення платних парковок на ВДМ, стимулювання облаштування позавуличних паркінгів і розвиток систем «Park&Ride»**) дає змогу вирішити проблему транспортної перевантаженості центральних районів

міст, знизити приблизно на 30% інтенсивність руху ТП та підвищити показники транспортної доступності основних місць тяжіння населення.

Серед **прикладів найкращої практики** реалізації паркувальної політики в передових європейських містах можна виділити наступні.

У Лондоні (Великобританія) при реєстрації ТЗ в місті здійснюється також внесення до спеціальної бази даних заявлених виробником обсягів викидів шкідливих речовин. Такий підхід дає змогу стягувати плату за паркування в адміністративних округах міста з урахуванням рівня викидів відповідного ТЗ.

У Мюнхені (Німеччина) застосування політики максимального обмеження паркування особистого АТ в місті мало на меті підштовхнути городян до повної відмови від його застосування на користь МГТ. Така політика також супроводжувалася комплексним підходом до перетворення громадського простору, якого дотримуються багато європейських міст.

Барселона (Іспанія) стала першим містом, в якому всі 100 % надходжень від оплати паркування АТЗ направляються для фінансування громадської програми прокату велосипедів.

Париж (Франція) має одну з найбільших в світі мережу системи велопрокату, проте муніципальний уряд додатково ініціює розширення громадських просторів за рахунок зниження транспортних (в т.ч. – стоянок для автомобілів).

У Копенгагені (Данія) тисячі метрів вуличного простору були перетворені на пішохідну зону, при цьому було ліквідовано сотні місць для стоянок автомобілів.

Незважаючи на особливості конкретних міст, всі наведені заходи по суті спрямовані на **скорочення загального використання особистих автомобілів в межах міста**, а також на **розвиток і популяризацію МГТ**. У цьому контексті виникають нові питання щодо **управління процесом паркування** – так, у багатьох містах правоохоронна діяльність у цій сфері віддається на **аутсорсинг приватним компаніям**, які розробили складні цифрові системи моніторингу для контролю паркування.

В цілому ж сучасні тенденції управління передбачають появу **технологічних нововведень систем обліку часу стоянки автомобілів** (електронних баз даних особистих автомобілів, їх сканування) та **систем оплати вартості паркування** (паркомат або платіжний термінал, смс-повідомлення або ussd – запит на єдиний короткий номер, мобільний або інтернет-банкінг).

Тарифи на користування вуличними автостоянками. Плата за користування вуличними автостоянками зазвичай встановлюється для того, щоб оптимізувати використання ПЧ. Вона впливає на коефіцієнт використання простору і мінімізує кількість АТЗ, водії яких уповільнюють рух в пошуках місця для паркування. Тариф визначається, виходячи з параметрів чутливості попиту (тобто в залежності від цільових рівнів заповнення паркувального простору і наявності вільних місць). Найчастіше водії бажають залишати свої автомобілі в максимальній близькості від пункту призначення, навіть якщо при цьому вони заважають руху інших ТЗ чи пішоходів.

Важливим фактором оптимального управління паркувальним простором є **гармонізація тарифів на вуличну та позавуличну стоянку**, які повинні спонукати водіїв робити вибір на користь останньої. У ряді міст Європи були створені т.з. «**контрольовані зони паркування**» – виділені території в межах міста розміром від одного кварталу до цілого району, в яких місцева адміністрація визначає правила стоянки та призначає тарифи з урахуванням місцевих умов. Так, в Лондоні є округи зі спеціальними цінами на стоянку в популярному торговому районі – перевага надається відвідувачам (покупцям), які приїхали на короткий час, або ж власникам місцевого бізнесу; натомість для автомобілістів, які використовують стоянку протягом всього робочого дня, вартість тривалої стоянки є значно більшою. Аналогічний підхід використовують в Цюріху (Швейцарія) та Мюнхені (Німеччина), де ціна за паркування залежить від кварталу, популярності місця і часу доби.

Методи прогресивного ціноутворення, коли вартість вуличної стоянки збільшується зі збільшенням часу паркування, застосовують у багатьох містах Європи (Цюріх, Антверпен, Відень і Мадрид). Так, в центральній частині Мадрида (Іспанія) водії можуть залишати свої автомобілі на вуличній стоянці максимум на дві години, причому за кожні наступні 30 хвилин в межах цього терміну вартість паркування збільшується порівняно з попереднім проміжком (рисунок 4.2.50).

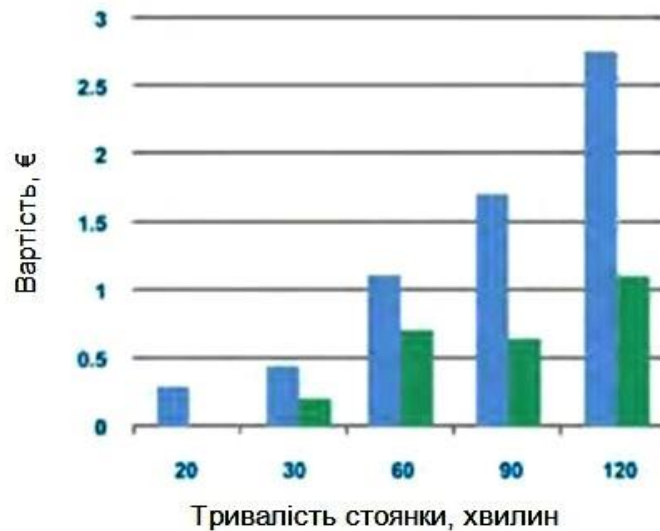


Рисунок 4.2.50 – Прогресивна шкала оплати за вуличну стоянку у «блакитній зоні» м. Мадрида (Іспанія) (Джерело: [20])

Регламент паркування за місцем проживання. Поїздки між центральною (діловою) частиною міста і житловими районами підштовхнули муніципальну владу більшості міст Європи до введення **спеціальних дозволів на паркування в житлових районах**. Таким чином, управління попитом на паркування серед жителів конкретного району стало більш ефективним – потреби в вуличних стоянках місцевих жителів значно відрізняються від потреб тимчасових відвідувачів цих районів.

Оподаткування підприємств, що резервують місця на вуличних стоянках. На компанії і підприємства, що надають простір під паркувальні місця для особистого автотранспорту своїх співробітників, можуть накладатись додаткові податкові збори.

Опрацювання призначення і резервування коштів для реалізації цілей соціальної сфери (цільове витрачання бюджетних коштів). У містах Барселона, Страсбург, Мюнхен і деяких адміністративних районах Лондона існує практика асигнування прибутку фондів паркування для підтримки екологічно чистого транспорту. Суспільну підтримку такої політики можна отримати за умови, що надлишкові фонди будуть використані для поліпшення роботи МГТ, пішохідної та велосипедної інфраструктури.

Особливості управління процесами паркування [20]

Обмеження числа паркувальних місць. У містах Гамбург, Цюрих і Будапешт встановлений максимальний обсяг пропозиції паркувальних місць в центральних районах шляхом розробки відповідних будівельних норм, якими обмежена кількість таких місць з подальшою заборонаю на розширення і будівництво нових

автостоянок. Як наслідок, на кожне позавуличне паркувальне місце, що створене в межах певної території, така ж кількість місць вуличного паркування має бути ліквідована.

Скорочення кількості вільних паркувальних місць на ПЧ також є одним із способів стимулювання використання альтернативних ТЗ і поліпшення стану навколишнього середовища (рисунок 4.2.51).



Рисунок 4.2.51 – Ліквідація вуличних автостоянок в районі Сіті м. Лондона (Великобританія) (Джерело: <https://www.forbes.com>)

Позитивними наслідками від зниження числа вуличних автостоянок в загальному випадку є:

- поліпшення оглядовості на перехрестях;
- скорочення тривалості пішохідної фази СФР за рахунок розширення тротуарної зони на перехрестях;
- облаштування додаткових місць для відпочинку городян;
- можливість додаткового благоустрою (озеленення) узбіч;
- збільшення території обслуговування кафе і ресторанів на вузьких вулицях.

Ідея **впровадження паркувального мінімуму** полягає в тому, щоб перекласти відповідальність щодо забезпечення паркувального простору в нових житлових районах на приватних забудовників. Зауважимо, що прогнозувати величину попиту на паркування в таких районах досить складно (відсутні точні алгоритми розрахунку, а також логічні експертні обґрунтування щодо паркувальних вимог для новобудов). Оскільки на практиці забудовники надають перевагу використанню вільної території під інші цілі, місцевій владі доцільно зобов'язувати їх реалізовувати проекти, що передбачають переважне використання місцевими жителями ГТ, велосипедів і піших переміщень.

Сучасним трендом щодо паркувальних вимог в містах країн ЄС передбачається введення більш **жорстких обмежень в залежності від**

доступності ГТ. Так, в Нідерландах реалізується політика під назвою «А, Б, В», в основу якої покладений поділ паркувального простору в залежності від віддалення тих чи інших місця для паркування до зупинок ГТ. При будівництві житлових районів, що знаходяться найближче до великих хабів ГТ (місцезнаходження А), пропозиція паркувального простору має бути максимально обмеженою. У тих нових районах, які знаходяться далеко від великих хабів (місцезнаходження В), створюється набагато більше місць для паркування.

У Парижі заборонено будувати паркінг в новому будинку, що знаходиться на відстані не більше 500 метрів від зупинки ГТ (під таке обмеження підпадають майже всі будівлі, що знаходяться в центральній частині міста, оскільки станції метро там розташовані досить близько одна від одної).

Обмеження (заборона) паркування. В більшості історичних центрів міст Європи має місце обмеження (заборона) не лише на паркування, а і на в'їзд чи перебування на відповідній території окремих категорій АТЗ (насамперед, якщо рівень забруднення ними доквілля перевищує встановлені норми). Також може бути обмежено або заборонено в принципі перебування автомобілів в пішохідних зонах (виняток, як правило, становлять ТЗ екстрених і кур'єрських служб, що працюють в певний час доби).

Вирішення проблем нового покоління. Хоча автомобілі, що стоять, були і залишаються однією з головних проблем сучасних міст, на громадський простір також впливає **нове покоління засобів мобільності** (насамперед – велосипеди чи електричні скутери, орендовані за принципом «free floating», які переміщуються та паркуються на тротуарах, заважаючи руху пішоходів).

Технічні засоби управління та контролю паркування [20]

Дорожні огороження. У Парижі та Мілані огорожувальні тумби встановлені у всіх місцях, де потрібно перешкоджати скупченню автомобілів на пішохідних доріжках та у громадських місцях. У певних випадках також застосовуються альтернативні елементи (висувні огорожувальні тумби, шлагбауми, поперечини (ворота), що обмежують висоту ТЗ) для запобігання доступу звичайних автомобілів і надання можливості проїзду та паркування автомобілів екстрених служб або іншому спеціалізованому транспорту.

Дорожня розмітка. У багатьох європейських містах (наприклад, у Стокгольмі) лініями дорожньої розмітки білого кольору позначають зони, в яких дозволяється паркування. Наявність місць з такою розміткою інформує автомобілістів про те, що зона паркування відокремлена від інших функціональних зон (пішохідних та велосипедних доріжок), а також від ПЧ.

На тих вулицях, де стоянка все ще дозволяється, існує практика **реорганізації паркувального вуличного простору для поліпшення умов БР**. В Цюріху (Швейцарія) організація місць для стоянки ТЗ в шаховому порядку по обидва боки вузьких вулиць створює додаткові перешкоди та змішує водіїв рухатись по зигзагоподібній траєкторії, що знижує середню швидкість руху автомобілів. Аналогічний спосіб дозволеного паркування в зонах т.з. «житлових вулиць» («woonefs») в Амстердамі змушує автомобілі рухатися повільніше поруч з велосипедистами і пішоходами. У Парижі та Копенгагені організовані велосипедні доріжки, на яких припарковані ТЗ служать бар'єром між велосипедистами і рухомим транспортом.

Для більш ефективного управління паркуванням в містах Європи все ширше застосовуються **технології сучасних ІТС**. Розглянемо типові приклади таких технологій.

Електронна система відстеження вільного паркувального простору. Як свідчать результати спостережень, середньостатистичний водій європейського міста в середньому витрачає близько 25 % загального часу свого переміщення на автомобілі в пошуках вільного місця для паркування. Інформаційні табло, що працюють в режимі реального часу і розміщені в зручних місцях, покликані полегшити процес такого пошуку і направити водіїв до найближчої автостоянки з вільними місцями. Такі інформаційні системи управління паркуванням вже діють майже у всіх великих містах Німеччини (рисунок 4.2.52).



Рисунок 4.2.52 – Табло з інформацією про кількість вільних місць на парковках м. Гамбурга (Німеччина)

«Розумні» паркувальні лічильники дають змогу автоматично реєструвати в зоні своєї дії автомобіль, що стоїть. Вони безпосередньо пов'язані з

інформаційною системою служби поліції, а також надсилають сигнал про наявність зупиненого АТЗ найближчим паркувальним інспекторам. В свою чергу, водій такого АТЗ на свій мобільний телефон отримує повідомлення про те, що він знаходиться в зоні платного паркування.

Оплата послуг паркування через мобільний пристрій або мобільний додаток. В даний час застосовуються різні методи оплати за користування стоянкою, в тому числі за допомогою карт передоплати, банківських карт, монет. Система оплати за допомогою телефону або мобільного пристрою є зручною для муніципалітетів, оскільки відповідальність за збір грошових коштів переходить на сторонню компанію, що виключає можливість втрати сплачених коштів.

Загалом новою хвилею технологічних інновацій в сфері контролю і зборів оплати за паркування є **інтеграція навігаційних систем та лічильників паркування з бортовими інформаційними системами окремих АТЗ.** Результатом такої взаємодії має стати не лише надання водіям відомостей про тарифи на паркування в залежності від місцезнаходження, часу доби і дня тижня, а і оперативне їх інформування щодо наявності вільних місць на автостоянках по маршруту слідування АТЗ, наступна навігація до потрібної стоянки, а також надання можливості автономного (без участі водія) паркування (рисунок 4.2.53).

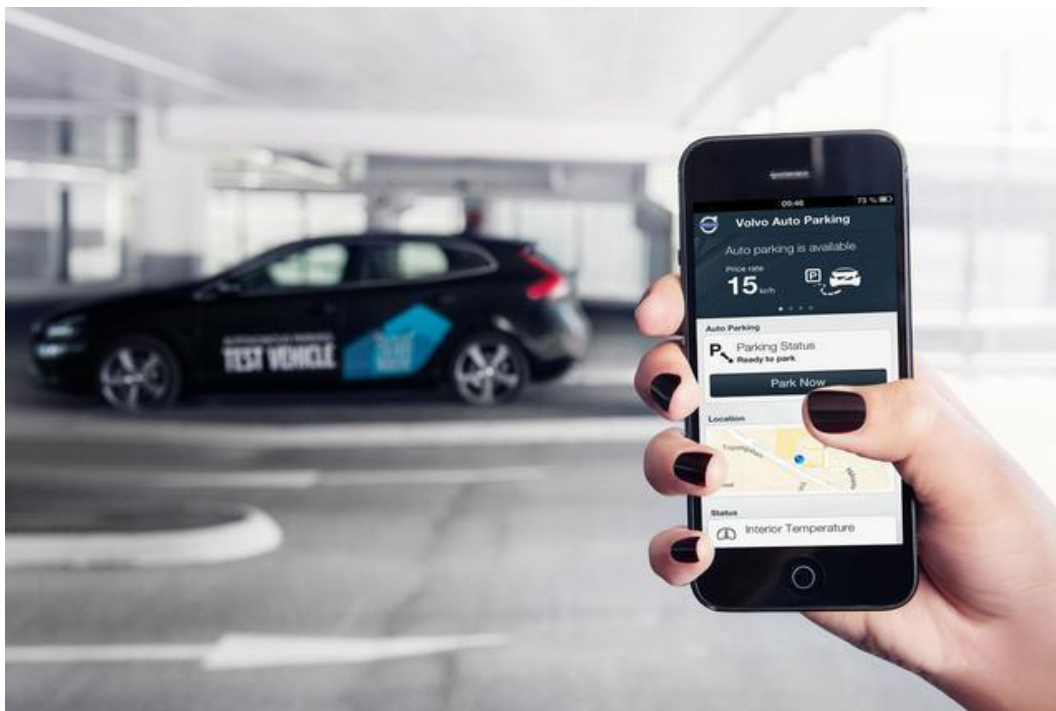


Рисунок 4.2.53 – Технологія автономного паркування автомобілів Volvo, що активується з мобільного телефону (джерело: <https://www.n-tv.de/auto>)

2.4. Охорона довкілля та екологічна безпека

2.4. Environmental protection and ecological safety

Загальні положення

Охорона довкілля ([англ.](#) *environmental protection / control / conservation*, [нім.](#) *Umweltwissenschaften*) — система заходів щодо раціонального використання [природних ресурсів](#), збереження особливо цінних та унікальних [природних комплексів](#) і забезпечення [екологічної безпеки](#) [48]. Важливе місце серед вказаних заходів займають такі, що спрямовані на **обмеження негативного впливу людської діяльності на довкілля**.

Актуальність охорони довкілля, що перетворилася в глобальну проблему, пов'язана головним чином зі зростанням антропогенного впливу. Це зумовлено, зокрема, демографічним вибухом та **урбанізацією, що прискорюється**.

Екологічна безпека – це такий стан навколишнього середовища, коли гарантується запобігання погіршення екологічної ситуації та здоров'я людини [49]. Екологічна безпека визначається по відношенню до територій (в т.ч. – [населених пунктів](#)) або до народногосподарських об'єктів (в т.ч. – [об'єктів транспорту](#)). В загальному випадку забезпечення екологічної безпеки передбачає наступні види діяльності [50]:

- [екологічний аудит](#);
- [моніторинг](#) довкілля;
- [прогноз розвитку екологічної ситуації](#);
- [екологічний менеджмент](#) (управління).

Міжнародні стандарти систем екологічного менеджменту серії ISO 14000 в містах (Environmental Management)

Появу в 1996 році міжнародних стандартів ISO серії 14000, якими були встановлені вимоги до створення на підприємствах (організаціях, компаніях) **систем екологічного менеджменту (СЕМ)**, називають однією з найзначніших міжнародних природоохоронних ініціатив. Типові положення цих стандартів полягають у тому, що на підприємствах (організаціях, компаніях) повинні виконуватися визначені **процедури**, повинні бути підготовлені певні **документи**, призначені **відповідальні** за визначені сфери екологічно значимої діяльності.

Доцільність застосування положень ISO 14000 в сучасних містах пояснюється тим, що вони забезпечують **об'єктивну основу для перевірки норм щодо екологічних показників**, які встановлюються органами місцевого

самоврядування з урахуванням конкретних умов та існуючих проблем довкілля, а також думок зацікавлених сторін.

Стандарти серії ISO 14000 стосуються систем екологічного аудиту, управління та маркування, оцінки екологічних характеристик та показників життєвого циклу. Вони є **добровільними стандартами** та не містять ніяких «абсолютних» вимог (оскільки не повинні втручатися у сферу дій національних нормативів), проте їх впровадження сприятиме не лише поліпшенню екологічної безпеки, а і додатковому стимулюванню міжнародної торгівлі.

ISO 14000 є інструментами управління екологічними програмами та забезпечують **міжнародно визнану систему** вимірювання, оцінки та аудиту таких програм. Після впровадження ці стандарти забезпечують узгодженість практики екологічного менеджменту, гармонізують національні екологічні стандарти, спрощують реєстрацію, забезпечують єдину систему для всіх транснаціональних дочірніх компаній та пропонують настанови щодо екологічного менеджменту [51].

Серія стандартів ISO 14000, насамперед, включає в себе **стандарт ISO 14001**, який являє собою фундаментальний набір правил, використовуваних організаціями по всьому світу, що проектують і впроваджують ефективні СЕМ.

Для міст (органів місцевого самоврядування, муніципалітетів, рад розвитку, тощо) проходження **сертифікації ISO 14001** дає змогу підкреслити та відтворити кращі екологічні заходи, а також забезпечує комплексний підхід до управління екологічною безпекою. Основними етапами процесу сертифікації є планування, розробка, впровадження, аналіз та власне сертифікація (рисунок 4.2.54).



Рисунок 4.2.54 – Основні етапи процесу сертифікації ISO 14001

Переваги проходження **сертифікації ISO 14001** для міст можна розділити на внутрішні та зовнішні [51]. Головними **внутрішніми перевагами** є:

- заощадження ресурсів;
- скорочення витрат;

- покращення прихильності та морального стану персоналу (за рахунок акцентування важливості їх внеску у вирішення екологічних проблем міста).

Якщо внутрішні вигоди орієнтовані насамперед на представників міської влади, то **зовнішні переваги** є ключовим аргументом (виправданням) для міської влади, яка прагне отримати сертифікацію ISO 14000, оскільки:

- місто доводить та демонструє своє «зелене обличчя»;
- місто стає зразком для інших міст;
- міська влада, яка отримала сертифікацію ISO, може сприяти такій сертифікації інших зацікавлених сторін (особливо з приватного сектору);
- стимулюється впровадження концепції «екологічна дія починається з дому».

Виділяють два **базові принципи** стандарту ISO 14001 [51]:

1) зобов'язання за ним є добровільними та значною мірою залежать від цілей та завдань, які місто ставить перед собою;

2) сертифікація ISO передбачає всеосяжну щорічну зовнішню систему моніторингу та оцінки, яка гарантує, що СЕМ справді реалізується та підтримується.

Головною зацікавленою в проходженні сертифікації ISO 14001 стороною є, звісно, **міська влада**. Разом із мерією, міською радою та іншими структурами міського управління, вони несуть безпосередню відповідальність за впровадження та підтримання вимог ISO 14001.

Недержавні організації та групи громадян міста мають створювати певний тиск на міську владу з метою запуску процесу отримання ISO 14001, а також здійснювати контроль та (за потреби) коригування дій міської влади у цьому процесі.

Експерти, дослідники, університети та міжнародні організації мають вирішальне значення для підвищення рівня обізнаності, освіти та консультацій при створенні рамок для міст щодо впровадження вимог СЕМ та ISO 14001.

Консультанти з питань сертифікації ISO (реєстратори) - це організації, які мають ліцензію та мандат на видачу сертифікатів ISO 14001. Окрім безпосереднього консультування міських виконавчих органів з питань розробки СЕМ та видачі сертифікатів, вони також здійснюють періодичне тестування життєздатності СЕМ в рамках проведення щорічного моніторингу та оцінки їх впровадження.

Визначальне значення при отриманні, впровадженні та підтримці сертифікації ISO має **інформація**, оскільки її збір та розповсюдження серед всіх зацікавлених сторін (як у міській владі, так і поза нею) є критично важливим для ефективності СЕМ. Типовими заходами для такого інформування є:

- семінари та тренінги для представників міської влади, в т.ч. поглиблене навчання - для відповідальних за впровадження СЕМ;
- консультації та діалог з групами громадян та іншими зацікавленими у створенні широкої СЕМ сторонами;
- поширення інформації щодо ініціатив ISO серед інших організацій міста та громадянського суспільства в цілому.

Стандарти ЄС щодо викидів транспортних засобів (European emission standards)

Нормативно-правова база ЄС в сфері **нормування викидів шкідливих речовин АТЗ** складається з низки директив, які передбачають поступове запровадження все більш жорстких стандартів. Кожен з цих стандартів визначає певний **рівень (етап) відповідних вимог**, які скорочено називають Євро 1, Євро 2, Євро 3, Євро 4, Євро 5 та Євро 6 (для стандартів легкових автомобілів). Зараз розробляється норма стандарту Євро 7, які будуть оприлюднені в 2021 році, і, ймовірно, набудуть чинності в 2025 році.

Наразі останні Правила ЄС щодо шкідливих викидів нових ТЗ (легкових та вантажних (комерційних) автомобілів малої вантажопідйомності) (Євро 5, Євро 6) визначені Регламентом № 715/2007 Європейського Парламенту та Ради від 20.06.2007р. [52].

Визначені цим Регламентом норми викидів передбачають обмеження насамперед чотирьох **основних забруднювачів, що утворюються при роботі двигунів АТЗ** [53]:

- **оксиду вуглецю або чадного газу (СО)** (конкурує з киснем у крові, зменшуючи частку доступного кисню в організмі; часто викликає отруєння, особливо небезпечним є для людей із захворюваннями серця);
- **оксидів азоту (NO_x)** (взаємодіють з речовинами у навколишньому середовищі та утворюють токсичні сполуки; погіршують дихання, викликають смог, сприяють кислотним дощам та вважаються парниковими газами);
- **вуглеводнів (НС)** (їх вважають основною причиною смогу та потенційно канцерогенними);
- **твердих частинок розміром менше 10 мкм або сажі (РМ)** (впливають на функції дихання та потенційно є канцерогенними).

Вищевказані норми викидів застосовуються до всіх АТЗ категорії М₁, М₂, N₁ та N₂ з контрольною масою, що не перевищує 2610 кг (Євро 5/6). Обмеження є різними для АТЗ з двигунами з примусовим запалюванням (бензин, природний та зріджений газ, етанол тощо) та з дизельними двигунами (останні передбачають більш суворі обмеження рівня СО, проте допускають вищий

рівень NO_x) (таблиця 4.2.8). Зауважимо, що з кожним етапом введення нових екологічних стандартів ЄС норми викидів шкідливих речовин АТЗ стають більш жорсткими (рисунок 4.2.55).

У 2017 році АТ призвів до 21 % загальних викидів в ЄС вуглекислого газу (CO₂), який є основним парниковим газом [55].

1 січня 2020 року набув чинності [Регламент ЄС 2019/631](#), який встановлює стандарти викидів CO₂ для нових легкових автомобілів та мікроавтобусів, цілі викидів CO₂ автопарку ЄС, що застосовуються, а також визначає механізм стимулювання споживання ТЗ з нульовим та низьким рівнем викидів.

Так, наприклад, були встановлені більш жорсткі норми викидів CO₂ на найближчі 10 років для всього автопарку ЄС, які визначаються відсотком зменшення відносно базового показника 2021 року. Зокрема, для пасажирських та вантажних мікроавтобусів це зменшення має скласти:

- пасажирські мікроавтобуси: з 2025 року – 15,0 %, з 2030 року – 37,5 %;
- вантажні мікроавтобуси: з 2025 року – 15,0 %, з 2030 року – 31,0 %.

Таблиця 4.2.8 – Норми викидів для легкових АТЗ категорії M₁ [54]

Етап	Дата	CO	HC	CH+NO _x	NO _x	PM	PN
		г/км					
Двигуни з примусовим запалюванням							
Євро 1†	1992.07	2.72 (3.16)	-	0.97 (1.13)	-	-	-
Євро 2	1996.01	2.2	-	0.5	-	-	-
Євро 3	2000.01	2.30	0.20	-	0.15	-	-
Євро 4	2005.01	1.0	0.10	-	0.08	-	-
Євро 5	2009.09 ^b	1.0	0.10 ^d	-	0.06	0.005 ^{e,f}	-
Євро 6	2014.09	1.0	0.10 ^d	-	0.06	0.005 ^{e,f}	6.0×10 ¹¹ e.g
Дизельні двигуни							
Євро 1†	1992.07	2.72 (3.16)	-	0.97 (1.13)	-	0.14 (0.18)	-
Євро 2, IDI	1996.01	1.0	-	0.7	-	0.08	-
Євро 2, DI	1996.01 ^a	1.0	-	0.9	-	0.10	-
Євро 3	2000.01	0.64	-	0.56	0.50	0.05	-
Євро 4	2005.01	0.50	-	0.30	0.25	0.025	-
Євро 5a	2009.09 ^b	0.50	-	0.23	0.18	0.005 ^f	-
Євро 5b	2011.09 ^c	0.50	-	0.23	0.18	0.005 ^f	6.0×10 ¹¹
Євро 6	2014.09	0.50	-	0.17	0.08	0.005 ^f	6.0×10 ¹¹
<p>* На етапах Євро 1-4 пасажирські транспортні засоби вагою понад 2500 кг були затверджені як ТЗ категорії N1</p> <p>† Значення в дужках - це обмеження відповідності виробництва</p> <p>a. до 1999.09.30 (після цієї дати двигуни DI повинні відповідати обмеженням IDI)</p> <p>b. 2011.01 для всіх моделей</p> <p>c. 2013.01 для всіх моделей</p>							

Етап	Дата	CO	HC	CH+NO _x	NO _x	PM	PN
		г/км					л/км
d. та NMHC = 0,068 г / км							
e. застосовується лише до транспортних засобів, що використовують двигуни DI							
f. 0,0045 г / км за допомогою процедури вимірювання PMP							
g. $6,0 \times 10^{12}$ л / км протягом перших трьох років з дати набрання чинності Євро 6							

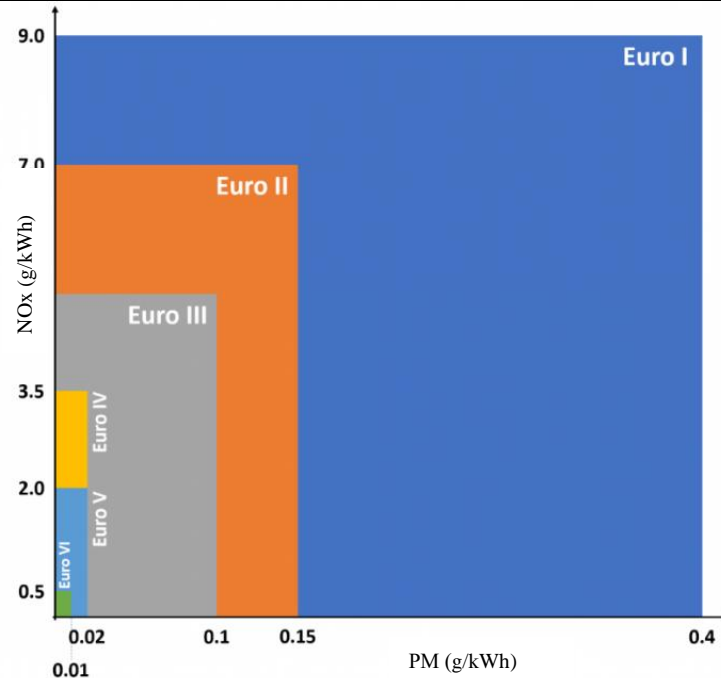


Рисунок 4.2.55 – Поетапні зміни норм ЄС щодо викидів NO_x та PM для вантажних автомобілів з дизельними двигунами (Джерело: [23])

З 1 січня 2021 року в ЄС застосовується новий стандарт викидів **Euro 6D ISC-FCM**. Зауважимо, що він реалізується в рамках загальної політики ЄС щодо зменшення викидів парникових газів (Регламент ЄС 2018/842 вимагає від держав-членів до 2030 року зменшити викиди парникових газів на 40 % нижче базового рівня) [56].

Новий стандарт поширюється на всіх виробників легкових автомобілів; для вантажних автомобілів нові правила набудуть чинності з 2022 року. Індекс ISC (відповідність експлуатації) в назві стандарту є підтвердженням того, що викиди шкідливих речовин під час нормального використання ТЗ будуть відповідати результатам лабораторних тестів. Індекс FCM (моніторинг споживання палива) стосується зобов'язання оснастити кожен ТЗ, зареєстрований після 1 січня 2021 року, пристроєм, що контролює споживання палива або використання електроенергії.

Якщо у 2020 році середні викиди вуглекислого газу (CO₂) для автомобілів, що продаються під європейськими марками, мали бути **нижче 120 г/км**, то з 1 січня 2021 року ця межа була зменшена до **95 г/км** (таке обмеження

є найсуворішим у світі – у 2021 році відповідна показник у США встановлений на рівні 125 г/км, в Японії – 122 г/км, в Китаї - 117 г/км).

Зауважимо, що серед іншого норма викиду залежить від виду (маси) ТЗ, що виробляється певним заводом-виробником - наприклад, якщо для Daimler (вантажні автомобілі) граничний показник CO₂ становить 103 г/км, то виробники невеликих автомобілів (такі, як Peugeot та FCA (Fiat Chrysler Automobiles)) повинні досягти рівня викидів нижче 91 г/км.

Хоча для оксидів азоту (NO_x) дозволена межа викидів за результатами лабораторних тестувань порівняно з попереднім стандартом залишилась незмінною (80 мг/км для дизельних двигунів та 60 мг/км для бензинових двигунів), стандартом Euro 6D ISC-FCM передбачені більш жорсткі вимоги до аналогічних показників, що визначаються при дорожніх випробуваннях (таблиця 4.2.9).

Таблиця 4.2.9 – Порівняння граничних показників викидів NO_x, передбачених різними Регламентами ЄС [56]

Період	Максимальний рівень викидів NO _x , мг/км			
	Дизельний двигун		Бензиновий двигун	
	Лабораторне тестування	Дорожнє випробування	Лабораторне тестування	Дорожнє випробування
До 31.12.2020 (Euro 6D TEMP)	80.0	168.0	60.0	126.0
З 01.01.2021 (Euro 6D ISC-FCM)	80.0	114.4	60.0	85.8
Різниця	0	-53.6	0	-40.2

За надлишкові викиди (тобто якщо середні питомі викиди CO₂ перевищують визначені Стандартом цільові показники) для автовиробників передбачені **штрафні санкції**, що накладаються Європейською Комісією (€ 95 за 1 грам CO₂, що виділяється понад ліміт, і стягується за кожен проданий автомобіль). Надходження від цих штрафів зараховуються як дохід до загального бюджету ЄС.

Наслідки порушення ліміту викидів CO₂ нещодавно гостро відчув концерн [Volkswagen AG](#), обмеження якого на 2020 рік становило 99,3 г/км, проте середній рівень викидів на кінець року склав 99,8 г/км. Враховуючи значний обсяг продажів автомобілів цієї марки, штрафи, визначені Європейською Комісією, склали понад € 100 млн. [56]

Окрім вищевказаних покарань, Регламентом ЄС також передбачене стимулювання виробництва автомобілів з низьким рівнем викидів CO₂ (≤ 50

г/км). Це дозволяє зменшити результати усього парку виробника, а отже, уникнути оплати за перевищення норм викидів CO₂. Регламент 2019/631 передбачає, що у 2021 році кожен новий низьковуглецевий легковий автомобіль умовно вважається рівним 1,67 автомобіля з ДВЗ (у 2020 році це співвідношення становило 2,00, у 2022 році – має скласти 1,33). Такий підхід має значний вплив на продажі електричних та гібридних автомобілів.

Європейська комісія припускає, що у 2050 році в ЄС будуть їздити лише ТЗ з нульовим рівнем викидів. Проте вже планується запровадити інший стандарт (Євро 7) передбачається, що він може бути введений до кінця 2025 року.

Можливості ІТС для зменшенні шкідливого впливу автомобільного транспорту на довкілля

Починаючи з 1950-х років кількість АТЗ у світі систематично зростала, і проблеми якості повітря, що існують сьогодні, спричинені, значною мірою, викидами від АТ. За винятком діоксиду сірки, **рух транспорту є основним джерелом формування поточного рівня більшості шкідливих речовин в атмосферному повітрі сучасних міст.** Проблеми з шумом, історично спричинені вільним рухом ТП на магістральній ВДМ, нині проявляються у міських районах через проблеми із заторами та значною кількістю вантажних автомобілів [57].

Інтелектуальні транспортні системи (ІТС) характеризуються складною архітектурою, що включає багато функціональних можливостей та інтегрує різні види технологій та технічних рішень (рисунок 4.2.56). Вони пропонують механізми для підвищення БР, зменшення заторів, а також підвищення економічної продуктивності завдяки використанню багатьох послуг - управління подорожами та перевезеннями, управління ГТ, електронних платежів, експлуатації комерційних автомобілів, управління надзвичайними ситуаціями, удосконалення систем безпеки ТЗ, управління інформацією, обслуговування та управління будівництвом [58].

Результати функціонування ІТС, що розроблялись останнім часом, мали суттєве значення для поліпшення загальної екологічної безпеки міст. За даними досліджень, застосування автоматизованих систем УДР, інформаційних систем для подорожей, систем управління МГТ та комерційними ТЗ, придорожніх систем управління відеоспостереженням в загальному випадку сприяло зменшенню споживання палива при використанні АТЗ та їх шкідливих викидів в атмосферу на 22 % [59].

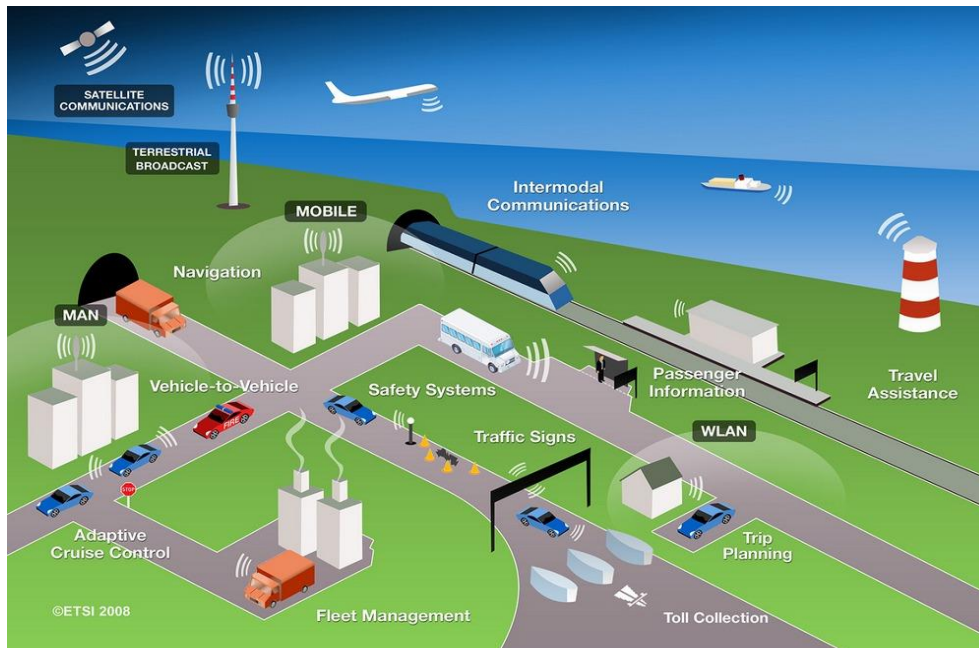


Рисунок 4.2.56 – Комунікаційні технології та послуги для ІТС
(Джерело: <https://itc.ua>)

Крім того, функціонування ІТС опосередковано впливає на зменшення загальних обсягів перевезень АТ, сприяє розширенню використання МГТ, зменшенню тривалості та частоти використання особистих ТЗ, а також скорочення часу пошуку місця для паркування. У наш час ІТС часто називають **перспективною альтернативою** більш традиційним заходам (будівництву нових ділянок ВДМ, поліпшення інфраструктури МГТ та акустичного екранування з метою захисту від шуму). Впровадження ІТС здатне одночасно підвищити безпеку та ефективність ВДМ міста, а також вирішити проблеми довкілля та здоров'я міських мешканців [60].

*Технологія дистанційного зондування
для моніторингу та контролю шкідливих викидів АТЗ*

Визначення (вимірювання) шкідливих викидів від пересування АТЗ по ВДМ є ключовим фактором ефективності будь-якої **системи екологічного моніторингу (контролю) забруднення атмосферного повітря**.

Для цілей такого моніторингу на практиці найчастіше використовують **портативні системи PEMS** (portable emissions measurement system), які передбачають відбір проб та аналіз відпрацьованих газів безпосередньо в процесі руху ТЗ та забезпечують щосекундний запис величин викидів. Застосування PEMS дає змогу виявляти розбіжності між фактичними викидами ТЗ та тими, що вказані їх виробниками, а тому таке обладнання було включено в протоколи сертифікаційних випробувань як для легкових, так і для вантажних автомобілів.

Разом з тим, системи PEMS мають значну вартість та потребують значних витрат праці на своє встановлення та налаштування; крім того, бортові комп'ютери сучасних АТЗ можуть «розпізнавати» таке тестування та реагувати на нього, змінюючи калібрування двигуна, що може призвести до зменшення викидів.

Дистанційне зондування як спосіб вимірювання шкідливих викидів АТЗ, у порівнянні з тестуванням PEMS, є менш витратним як з точки зору часу, так і коштів. На думку фахівців, сумісне застосування PEMS та дистанційного зондування дає змогу не лише отримати точні та об'єктивні дані щодо лише викидів забруднюючих речовин від АТЗ, але і оцінити ефективність чинної технології УДР з точки зору її відповідності загальній екологічній політиці [61].

Дія систем дистанційного зондування базується на застосуванні для вимірювання концентрацій шкідливих речовин **методів поглинаючої спектроскопії**. Відповідний пристрій, що складається з детектора та джерела світла, розміщують біля ПЧ (чи над нею) таким чином, щоб промінь світла від джерела перетинав вихлопні шлейфи ТЗ, що проїжджають. Відносну кількість шкідливих викидів кожного виду у відпрацьованих газах можна визначити з урахуванням того, скільки світла певної довжини хвилі поглинається, коли промінь світла проходить через вказаний шлейф. Кожне вимірювання таким способом триває менше однієї секунди, і, коли воно успішне, дає оцінку **концентрації забруднюючих речовин** відносно концентрації вуглекислого газу (CO₂). Види забруднюючих речовин, що розрізняються - оксиди азоту (NO_x), оксид вуглецю (CO) та вуглеводні (HC), тверді частки (сажа), діоксид сірки (SO₂) та аміак (NH₃).

Для забезпечення можливості дієвого та диференційованого **контролю** дані про викиди необхідно доповнити **інформацією про ТЗ**, з якого вони походять. Для цього застосовують додаткове обладнання – **камери відеофіксації зображення номерного знаку ТЗ**, а також **пристрої для визначення його швидкості і прискорення** на момент вимірювання викидів. Крім того, в системах дистанційного зондування наявні датчики для моніторингу таких умов довкілля як **температура, тиск та відносна вологість**.

Таким чином, **повний запис результатів дистанційного зондування** для кожного окремого автомобіля містить інформацію про:

- дані про концентрацію кожного виду шкідливих викидів відносно CO₂, показник якої є вищим від його вмісту в навколишньому повітрі;
- швидкість та прискорення автомобіля;
- умови вимірювання (характеристика ділянки, температура, тиск та відносна вологість повітря);

- конструктивні параметри цього автомобіля (марка, модель, категорія, рік випуску, тип і розмір кузова, порожня маса, тип палива, об'єм двигуна, норма викидів та значення CO₂ для даного типу ТЗ).

Наразі основними комерційними постачальниками обладнання дистанційного зондування та послуг з екологічного моніторингу у США та ЄС є Opus Inspection та Hager Environmental and Atmospheric Technologies (HEAT). Технології дистанційного зондування Opus використовуються вже кілька десятиліть, прилади HEAT з'явилися нещодавно.

Загальні принципи функціонування систем кожного виробника схожі, проте існують також певні **відмінності**, найбільш суттєва з яких стосується **способу вимірювання** (місця розташування джерел світла та детекторів відносно ПЧ).

Джерело світла в системі RSD 5000 (Opus) має бути встановлене збоку від ПЧ, а тому світловий промінь, що проходить через вихлопний шлейф рухомих АТЗ, буде орієнтований горизонтально (рисунок 4.2.57).

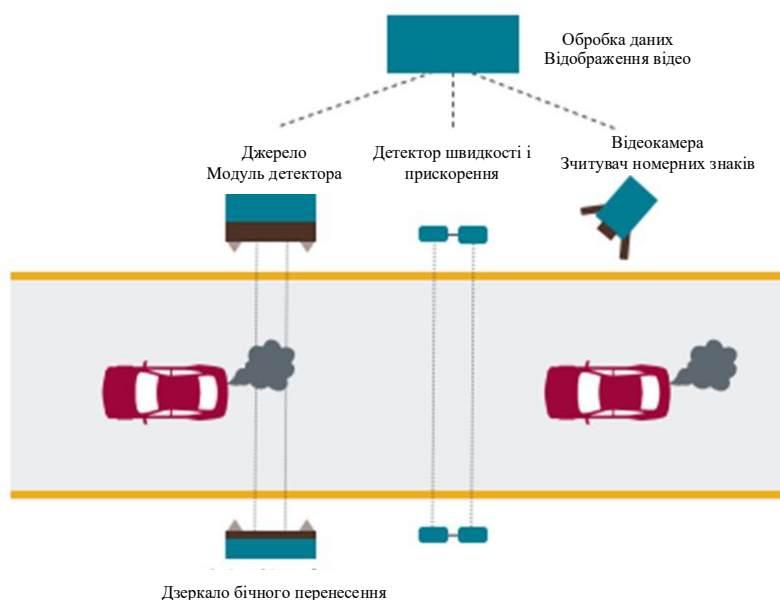


Рисунок 4.2.57 – Схема розташування пристроїв системи дистанційного зондування виробництва Opus Inspection (Джерело: [61])

В свою чергу, пристрої в системі дистанційного зондування HEAT EDAR встановлені над ПЧ, а тому світловий промінь проходить вертикально (рисунок 4.2.58). Крім того, в якості джерела світла в них використовується лазер, промінь якого проходить по всій ширині ПЧ та дозволяє виміряти весь вихлопний шлейф автомобіля.

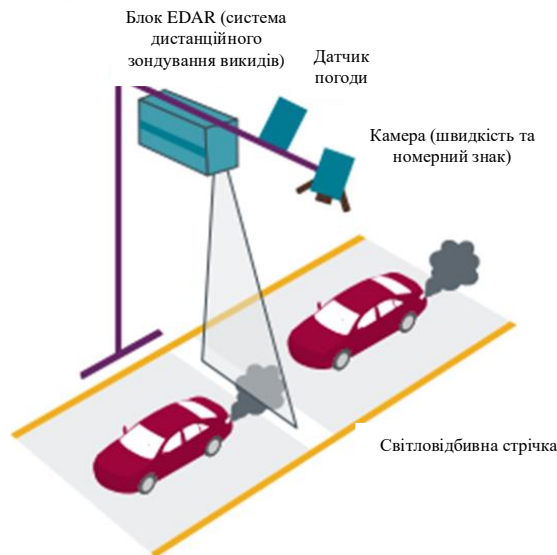


Рисунок 4.2.58 – Схема розташування пристроїв дистанційного зондування HEAT EDAR (Джерело: [61])

Як бачимо, розташування пристроїв EDAR на практиці дає змогу полегшити проведення вимірювань на **багатосмугових ПЧ**, а також зменшує **чутливість (залежність) вимірювання від висоти та орієнтації** вихлопної труби досліджуваного АТЗ. З іншого боку, бічне розташування та портативність пристроїв RSD 5000 забезпечують більш просте та швидке їх розгортання та налаштування, тобто поліпшують **гнучкість та мобільність їх практичного застосування**.

Порівняно з тестуванням PEMS, один запис дистанційного зондування забезпечує **обмежену кількість даних** про шкідливі викиди автомобіля (оскільки воно триває менше 1 с, тому визначені показники є репрезентативними лише для певного режиму його руху (швидкості та прискорення) в конкретних умовах (ділянки ВДМ та погодних умов)), в той час як тестування PEMS може тривати до декількох годин. Проте таку коротку тривалість тестування слід розглядати як **особливість методу дистанційного зондування**, а не як обмеження, оскільки він дозволяє **економічно ефективно та порівняно дешево вимірювати реальні викиди від дуже великої кількості ТЗ в реальному масштабі часу хоч щодня**. Хоча кожне окреме вимірювання стосується лише одного ТЗ, сукупна вибірка може надати детальну інформацію про викиди не тільки від загальної кількості ТЗ, але й від конкретних їх груп (видів) у складі ТП.

Крім того, вищевказана **можливість оперативного вимірювання показників шкідливих викидів при русі значної кількості АТЗ (тобто ТП)** робить системи дистанційного зондування шкідливих викидів практично

обов'язковим елементом підсистем збору інформації АСУ ДР в містах та систем (підсистем) екологічного моніторингу в складі ІТС.

Зауважимо, що оскільки прямим результатом дистанційного зондування є показник (величина) концентрації певного забруднювача, його зазвичай перераховують на **коефіцієнт викидів для конкретного палива** (обсягу забруднювача (г, мг) на об'єм пального (л, кг)). В свою чергу, для забезпечення можливості порівняння з чинними **нормами викидів** (таблиця 2.8) розроблені також методи подальшого перетворення цих коефіцієнтів на питомі відносно відстані величини (г/км).

Оскільки дистанційне зондування дає змогу досить зручно та ефективно отримувати відомості про шкідливі викиди щодо значної кількості ТЗ, воно може сприяти вирішенню багатьох практичних задач, спрямованих на поліпшення стану довкілля та екологічної безпеки. Нижче наведено дев'ять напрямків можливого використання вищевказаних відомостей (зазначимо, що окремі з них вже реалізуються). [61]

Виявлення та ідентифікація окремих ТЗ-порушників, які, найімовірніше, мають або несправну систему контролю викидів, або таку, в яку відбулося втручання (зауважимо, що за допомогою дистанційного зондування можна також виявляти ТЗ, в яких, швидше за все, система контролю викидів працює належним якісно). Отримані дані можна використовувати для багатьох цілей - підтримки та вдосконалення існуючих програм періодичного технічного огляду, підтримки програм придорожнього огляду чи «чистого екрану» (остання дозволяє водіям пропустити періодичне тестування для повторної сертифікації викидів шкідливих вихлопних газів на своїх ТЗ).

Удосконалення моделей шкідливих викидів АТЗ та якості повітря за рахунок встановлення реальних факторів впливу на ці викиди на багатьох рівнях деталізації. Залежно від наявності даних, відповідні **коефіцієнти викидів** можуть формуватися для різними класифікаційними ознаками: загальний середній парк, тип ТЗ (наприклад, легковий або вантажний), тип палива (наприклад, бензин або дизель), стандарт викидів (наприклад, Євро 5 або Євро 6), виробник (наприклад, Volkswagen або Renault), група (всі ТЗ з однаковим двигуном), модель ТЗ, тощо. Такі коефіцієнти також можуть бути використані як вихідні дані до різних моделей викидів, інструментів прогнозування якості повітря або моделей ДР з метою підвищення їх точності та адекватності.

Розробка (удосконалення) транспортної політики. Дані, отримані за допомогою дистанційного зондування, поліпшують рівень інформування місцевих, регіональних та національних структур ЄС, які працюють над розробкою або вдосконаленням транспортної політики. Наприклад, міста, які розглядають можливості запровадження зон з низьким рівнем шкідливих

викидів АТЗ чи повної заборони їх руху, можуть використовувати відповідні відомості для прогнозування ефективності різних варіантів таких рішень.

Відстеження ефективності окремих технологічних рішень. Ряд нових технологій в області автомобілебудування (наприклад, додаткові засоби контролю викидів (сажові фільтри, каталізовані SCR), нові силові агрегати (гібридні двигуни), альтернативні види палива (природний газ)) потенційно можуть мати суттєвий вплив на реальні викиди шкідливих речовин АТЗ; крім того, ефективність існуючих технологій також може змінюватися з часом використання. Дані дистанційного зондування можна використовувати для відстеження реальної ефективності технологій у динаміці.

Моніторинг транспорту. Дистанційне зондування може бути використано для ефективного моніторингу всього АТ та визначення моделей ТЗ з високою ймовірністю виникнення проблем щодо дотримання чинних екологічних вимог (внаслідок різних дефектів чи проблеми з довговічністю), які слід додатково оцінювати за допомогою більш масштабних випробувань із використанням REMS або інших методів поглибленого тестування.

Контроль окремих ТЗ для державних чи приватних власників з метою встановлення реального стану свого рухомого складу.

Аналіз впливу на екологічну безпеку конкретних умов руху. Деякі міста або регіони можуть мати певні умови руху (наприклад, наявність ділянок ВДМ зі значними поздовжніми ухілами, екстремальні температури або значна висота над рівнем моря), через що показники викидів АТЗ на них відрізняються від середніх значень. За допомогою результатів дистанційного зондування можна визначити - які конкретні умови руху впливають на викиди та як саме.

Вплив рішення про закупівлю АТЗ. Інформація про реальні викиди певної моделі ТЗ може впливати на рішення щодо його придбання як на рівні окремого споживача, так і на рівні міських автобусних парків або логістичних компаній.

Тема 3. Моделювання та управління транспортними потоками Theme 3. Modelling and traffic management

*Д.Б. Бегерський, В.П. Шумляківський, О.П. Кравченко
Beherskyi Dmytro, Shumliakivskiy Volodymyr, Kravchenko Oleksandr*

3.1. Моделювання транспортних потоків 3.1. Modeling traffic flows

Сучасне суспільство потребує постійного збільшення обсягу транспортного сполучення, підвищення його надійності, безпеки і якості. Це вимагає збільшення витрат на поліпшення інфраструктури транспортної мережі, перетворення її в гнучку, високо керовану логістичну систему. При цьому ризик інвестицій значно зростає, якщо не враховувати закономірності розвитку транспортної мережі, розподіл завантаження її ділянок. Ігнорування цих закономірностей приводить до частого утворення транспортних заторів, перевантаження / недовантаження окремих ліній і вузлів мережі, підвищення рівня аварійності, екологічного збитку.

Накопичено великий досвід дослідження процесів руху. Однак, загальний рівень досліджень та їх практичного використання недостатній в силу наступних факторів:

- ТП нестабільний і різноманітний, отримання об'єктивної інформації про нього є найбільш складним і ресурсомістким елементом системи управління;
- критерії якості УДР суперечливі: необхідно забезпечувати безперервність руху одночасно знижуючи збиток від руху, накладаючи обмеження на швидкість і напрямки руху;
- ДУ, при всій їх стабільності, все одно є непередбачуваними як у відхиленні погодно-кліматичних умов, так і щодо власних параметрів;
- виконання рішень з УДР завжди має певні відхилення при реалізації і, з огляду на природу процесу ДР, призводить до непередбачуваних ефектів [67].

Таким чином, труднощі формалізації процесу руху ТП стали серйозною причиною відставання результатів наукових досліджень від вимог практики.

Нижче наведено огляд найбільш відомих моделей ТП

Гідродинамічні моделі розглядають ТП як потік одновимірної стисненої рідини, припускаючи, що потік зберігається та існує взаємо однозначна залежність між швидкістю і щільністю ТП.

Перше припущення виражається рівнянням нерозривності, друге – функціональною залежністю між швидкістю і щільністю для обліку зменшення швидкості руху автомобілів з ростом щільності потоку. Це інтуїтивно вірно

припущення теоретично може привести до негативної величини щільності або швидкості. Очевидно, одному значенню щільності може відповідати кілька значень швидкості. Тому для другого допущення середня швидкість потоку в кожен момент часу повинна відповідати рівноважному значенню при даній щільності автомобілів на дорозі. Рівноважна ситуація – чисто теоретичне припущення і може спостерігатися тільки на перегінних ділянках ВДМ. Тому частина дослідників відмовилися від безперервних моделей, а частина розглядає їх як надто грубі.

Серед гідродинамічних моделей розрізняють моделі з урахуванням і без урахування ефекту інерції. Останні можуть бути отримані з рівняння нерозривності, якщо швидкість розглядати як функцію щільності. Моделі, що враховують інерцію, представляються рівняннями Нав'є-Стокса зі специфічним членом, що описує прагнення водіїв їхати з комфортною швидкістю.

Розглянемо потік транспорту на одній смузі ПЧ, тобто при русі без обгонів. Щільність ТП (кількість АТЗ на одиницю довжини ділянки) дорівнює $\rho(x, t)$, $x \in R$ в момент часу $t \geq 0$. Число автомобілів в інтервалі (x_1, x_2) в момент часу t дорівнює:

$$\int_{x_1}^{x_2} \rho(x, t) dx. \quad (4.3.1)$$

Нехай $v(x, t)$ - швидкість ТП в точці x в момент t . Число автомобілів, що проходять через x (одиницю довжини) в момент t , дорівнює $\rho(x, t) \times v(x, t)$. Знайдемо рівняння зміни щільності. Число АТЗ в інтервалі (x_1, x_2) за час t змінюється відповідно до числа автомобілів, що в'їжджають та виїжджають на ділянку довжиною x , складе:

$$\frac{d}{dt} \int_{x_1}^{x_2} \rho(x, t) dx = \rho(x_1, t)v(x_1, t) + \rho(x_2, t)v(x_2, t). \quad (4.3.2)$$

Інтегруючи по часу і вважаючи, що ρ і v – безперервні функції, отримаємо:

$$\int_{t_1}^{t_2} \int_{x_1}^{x_2} \frac{\partial \rho(x, t)}{\partial t} dx dt = \int_{t_1}^{t_2} (\rho(x_1, t)v(x_1, t) + \rho(x_2, t)v(x_2, t)) dx dt = - \int_{t_1}^{t_2} \int_{x_1}^{x_2} \partial \quad (4.3.3)$$

Оскільки $x_1, x_2 \in R$, $t_1, t_2 > 0$ довільні, тобто

$$\rho_t + (\rho v)_x = 0, \quad x \in R, t > 0. \quad (4.3.4)$$

Доповнимо це рівняння початковими умовами:

$$\rho(x, 0) = \rho_0(x), \quad x \in \mathbb{R} \quad (4.3.5)$$

Знайдемо рівняння для швидкості v . Припустимо, що вона залежить тільки від щільності ρ . Якщо ділянка вільна від інших ТЗ ($\rho = 0$), автомобіль може рухатись з максимальною швидкістю $v = v_{max}$. При збільшенні інтенсивності швидкість падає аж до повної зупинки всіх ТЗ ($v = 0$), а щільність стає максимальною ($\rho = \rho_{max}$). Ця найпростіша модель виражається наступним лінійним співвідношенням (рисунок 4.3.1):

$$v(\rho) = v_{max} \left(1 - \frac{\rho}{\rho_{max}}\right), \quad 0 \leq \rho \leq \rho_{max}. \quad (4.3.6)$$

Тоді рівняння (4.3.4) набуває вигляду:

$$\rho_t + \left[v_{max} \rho \left(1 - \frac{\rho}{\rho_{max}}\right) \right]_x = 0, \quad x \in \mathbb{R}, t > 0. \quad (4.3.7)$$

Очевидно, це **закон збереження ТП (кількості автомобілів)**. Інтегруючи (4.3.7) по $x \in \mathbb{R}$, отримаємо:

$$\frac{d}{dt} \int_{\mathbb{R}} \rho(x, t) dx = - \int_{\mathbb{R}} \frac{\partial}{\partial x} \left[v_{max} \rho(x, t) \left(1 - \frac{\rho(x, t)}{\rho_{max}}\right) \right] dx = 0 \quad (4.3.8)$$

і, отже, кількість автомобілів в \mathbb{R} постійно для будь-яких значень $t \geq 0$.

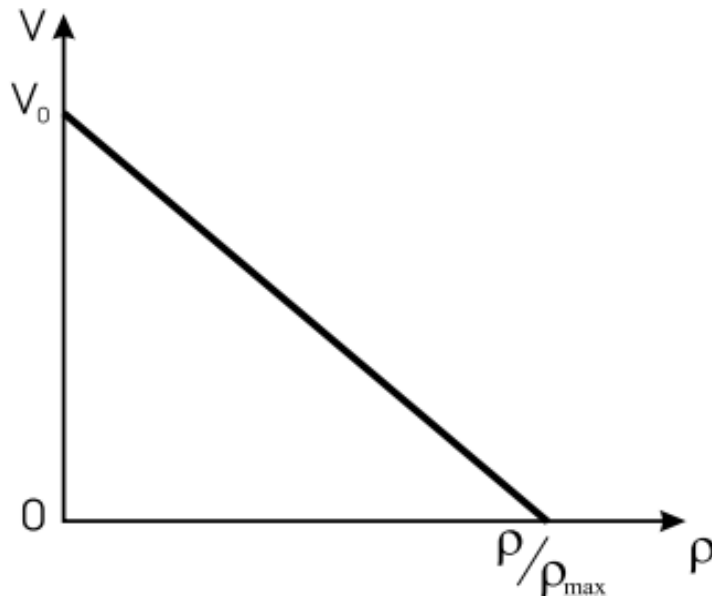


Рисунок 4.3.1 – Лінійна апроксимація Гріншілдса

Моделі Гріншілдса і Грінберга

Можна побудувати макроскопічну модель, в якій рівняння Гріншїлдса є окремим випадком [71]. Розглянемо зв'язок між швидкістю v і щільністю ρ автомобілів на дорозі. У загальному випадку, коли щільність ρ підвищується, водії знижують швидкість і навпаки, тому

$$v = v\{\rho(x(t), t)\} \quad (4.3.9)$$

де $x(t)$ – координата руху елемента потоку.

Простежимо зміну швидкості для деякого пересуваючогося елемента потоку в часі, який визначається як повна похідна за часом:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{d\rho} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{dv}{d\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} \frac{dx}{dt} \quad (4.3.10)$$

Із (4.3.4) впливає співвідношення:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\rho \frac{dv}{dx} - v \frac{\partial \rho}{\partial x} \quad (4.3.11)$$

яке після підстановки в (4.3.10) набуває вигляду:

$$\frac{dv}{dt} = -\rho \frac{dv}{dx} \left(\frac{dv}{d\rho}\right) - v \frac{\partial \rho}{\partial t} \left(\frac{dv}{d\rho}\right) + v \frac{\partial \rho}{\partial x} \left(\frac{dv}{d\rho}\right) = -\rho \frac{dv}{dx} \left(\frac{dv}{d\rho}\right) \quad (4.3.12)$$

Так як згідно (4.3.9):

$$\frac{dv}{dx} = \frac{dv}{d\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} \quad (4.3.13)$$

співвідношення (4.3.12) можна переписати у вигляді

$$\frac{dv}{dt} = -\rho \left(\frac{dv}{d\rho}\right)^2 \frac{\partial \rho}{\partial x} = -\rho(v')^2 \frac{\partial \rho}{\partial x} \quad (4.3.14)$$

де $v' = dv/d\rho$, а негативний коефіцієнт пропорційності $[-\rho(v')^2]$ можна інтерпретувати як в'язкість в рідині. Для класичної стисливої рідини рівняння (4.3.14) називається рівнянням Ейлера, в цьому випадку:

$$\frac{dv}{dt} = -C^2 \rho^{-1} \frac{\partial \rho}{\partial x} \quad (4.3.15)$$

де C – не негативна константа з розмірністю швидкості.

Прийнято розглядати більш загальний клас моделей, в яких:

$$\frac{dv}{dt} = -C^2 \rho^n \frac{\partial \rho}{\partial x} \quad (4.3.16)$$

Рівняння (4.3.15) відповідає випадку $n \neq -1$, отже, з рівнянь (4.3.14) і (4.3.15) $v' = C^2 \rho^{(n-1)/2}$. Рішенням цього рівняння буде:

$$v = C \ln \frac{\rho_{max}}{\rho} \quad (4.3.17)$$

при $n = -1$, та

$$v = \frac{C}{n+1} \left[\rho_{max}^{(n+1)/2} - \rho^{(n+1)/2} \right] \quad (4.3.18)$$

при $n \neq -1$.

Модель (4.3.17) була вперше отримана Грінбергом. Позначивши за v_0 - швидкість при $\rho = 0$, для значень $n \leq 0$, можна записати:

$$v = v_0 \left(1 - \left[\frac{\rho}{\rho_{max}} \right]^{(n+1)/2} \right) \quad (4.3.19)$$

Рівняння (6), вперше отримане Гріншїлдсом, є окремим випадком рівняння (4.3.19) при $n = 1$.

Модель Лайтхілла-Уїзема. Кінематичні хвилі

При побудові моделі були прийняті наступні допущення:

- транспортний потік безперервний, його щільність $\rho(x, t)$ є число машин займаючих одиницю довжини дороги;

- величина потоку $q(x, t)$ дорівнює числу машин перетинаючих межу x за одиницю часу, визначається локальною щільністю ρ :

$$v = v_0 \left(1 - \left[\frac{\rho}{\rho_{max}} \right]^{(n+1)/2} \right) \quad (4.3.20)$$

Швидкість потоку дорівнює $V(\rho) = \frac{Q(\rho)}{\rho}$, тобто середня швидкість є функцією щільності $V(x, t) = V_e(\rho(x, t))$;

- на ділянці дороги без з'їздів-в'їздів кількість машин зберігається (3.7).

Рівняння (4.3.20) і (4.3.7) утворюють повну систему. Після підстановки отримаємо

$$\rho_t + c(\rho)\rho_x = 0 \quad (4.3.21)$$

де $c(\rho) = Q'(\rho) = V_e(\rho) + \rho V_e'(\rho)$ – швидкість розповсюдження збурень.

Співвідношення $Q(\rho) = \rho V_e(\rho)$ грає важливу роль в теорії транспортних потоків і називається фундаментальною діаграмою (рис. 4.3.2). У моделі Лайтхілла-Уїзема ця залежність неперервна, отже, гранична пропускна здатність ділянки дороги визначається щільністю потоку.

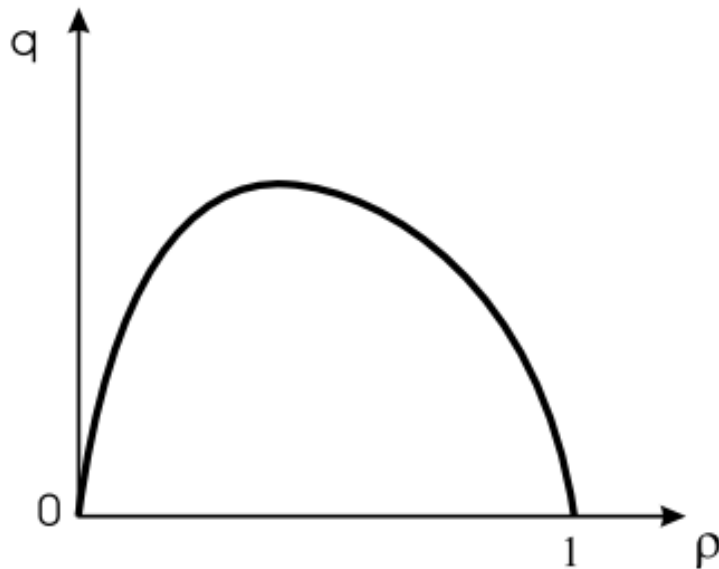


Рисунок 4.3.2 – Фундаментальна діаграма транспортного потоку

Загальний вигляд рішення нелінійного рівняння (4.3.21):

$$c(x, t) = F(x - vt) \quad (4.3.22)$$

де F – довільна функція. Співвідношення (22) описує біжучу хвилю, що розглядається як хвиля ущільнення в середовищі. Хвилі типу (4.3.22) називають кінематичними хвилями, що підкреслює їх кінематичне походження на противагу динамічній природі акустичних і пружних хвиль.

Ударні хвилі в транспортному потоці

Аналіз розглянутих моделей показав існування області нестійкості на кривих $q(v)$ [73]. Розглянемо модель Гріншїлдса (3.6) (випадок $n = 1$). Нехай швидкість v лежить в межах

$$0 < v \leq v_0 \quad (4.3.23)$$

так що $\frac{dq}{dv} > 0$. Якщо з якої-небудь причини швидкість деякої частини потоку знизиться на Δv , інтенсивність руху знизиться на $\rho_j(1 - 2v/v_0)\Delta v$. Щільність цієї частини потоку ρ підвищиться, і швидкість буде далі знижуватися. Обурення швидкості є незатухаючим, що і демонструє нестійкість поведінки транспортного потоку. У цих випадках автомобілі в потоці змушені неодноразово рушати з місця і зупинятися. Це явище носить назву ударної хвилі.

Рівняння (4) також демонструє наявність ударних хвиль. Його рішення було вперше запропоновано Лайтхїллом і Уїземом (1955р.) та незалежно Річардсом (1956р.). Аналітичне рішення рівняння (3.4) в загальному випадку складне і в практичних розрахунках не використовується. Для окремого випадку, на ділянці

дороги без з'їздів-в'їздів можна покласти $q = f(\rho)$ або $v = f(\rho)$ (рівноважний потік), тобто

$$v(x, t) = v_e(\rho(x, t)) \quad (4.3.24)$$

Тепер перепишемо рівняння (4.3.4) у вигляді:

$$\left(f(\rho) + \rho \frac{df(\rho)}{d\rho} \right) \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (4.3.25)$$

Функція $f(\rho)$, взагалі кажучи, довільна. Якщо покласти зв'язок швидкість-щільність лінійної (Гріншілдс, 1934р.), то рівняння (4.3.25) набуде вигляду:

$$\left(v_0 - 2v_0 \frac{\rho}{\rho_j} \right) \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (4.3.26)$$

Рівняння (4.3.25) вирішується методом характеристик.

Аналіз рішення рівняння (4.3.26) приводить до наступних висновків (див. [21]):

- щільність ρ постійна уздовж сімейства характеристик;
- нахил характеристик

$$\frac{dx}{dt} = f(\rho) + \rho[f'(\rho)] = \frac{dq}{d\rho} \quad (4.3.27)$$

дорівнює тангенсу нахилу кривої щільності потоку в точці, яка представляє стан потоку на кордоні, з якої виходять ці характеристики;

- щільність в будь-якій точці фазової області (x, t) знаходиться проведенням власних характеристик через цю точку.

Перетин характеристик пояснюється існуванням ударних хвиль, так як в точці перетину щільність має два значення, що фізично неможливо. Математично ударна - розрив ρ , q або v . Швидкість ударної хвилі визначається нахилом лінії, що з'єднує два стани потоку (висхідний і спадний):

$$v_w = \frac{q_d - q_u}{\rho_d - \rho_u} \quad (4.3.28)$$

де ρ_d , q_d представляють течію потоку вниз, а ρ_u , q_u – вгору. Коли $v_w > 0$, ударна хвиля рухається вниз відносно дороги, якщо $v_w < 0$ – вгору.

Гідродинамічні моделі другого порядку

Розглянуті вище моделі мають такі обмеження:

- стаціонарність співвідношення швидкість-щільність (середня швидкість руху при певній щільності встановлюється миттєво);

- коливальні рішення, що описують виникнення нестійкості у вигляді регулярних старт-стоп хвиль із залежним від амплітуди часом коливання не можуть бути виведені з рівнянь кінематичних хвиль;

- не дозволяють описати явище гістерезису – повернення потоку в стійкий стан при менших значеннях щільності [74–76].

У реальному потоці щільність не змінюється стрибками. Водії зазвичай знижують швидкість при збільшенні щільності машин попереду, і навпаки. Тому q залежить ще і від градієнта щільності ρ_x [81]:

$$q = Q(\rho) - v\rho_x \quad (4.3.29)$$

де v – деяка позитивна постійна величина.

В силу (4.3.21) і (4.3.29) маємо:

$$\rho_t + c(\rho)\rho_x = v\rho_{xx}, \quad c(\rho) = Q'(\rho). \quad (4.3.30)$$

Помноживши (4.3.30) на $c'(\rho)$, перепишемо його у вигляді:

$$c_t + cc_x = vc'(\rho)\rho_{xx} = vc_{xx} - vc''(\rho)\rho_x^2 \quad (4.3.31)$$

При апроксимації $Q(\rho)$ квадратичною функцією, $c(\rho)$ буде лінійна по ρ , а $c''(\rho) = 0$. Таким чином, рівняння (4.3.31) приймає вигляд рівняння Бюргерса:

$$c_t + cc_x = vc_{xx} \quad (4.3.32)$$

де член cc_x описує утворення "пробок" – швидкі машини наздоганяють повільні, виникає стрибок щільності. Член vc_{xx} задає кінцеву ширину цього стрибка. Рівняння Бюргерса (4.3.32) можна розглядати як одновимірне рівняння Нав'є-Стокса для стисливої рідини з одиничною щільністю. Нелінійне рівняння (4.3.32) зводиться до лінійного рівняння теплопровідності заміною Коула-Хопфа:

$$c = 2v \frac{\partial}{\partial x} \ln \psi(x, t) = -2v \frac{\varphi_x}{\varphi} \quad (4.3.33)$$

При вивченні властивостей транспортного потоку становлять інтерес також і інші версії рівняння Бюргерса.

Недоліком моделі Лайтхілла-Уізема є припущення про рівноважне значення швидкості V_e при даній щільності автомобілів. Це не дозволяє адекватно описувати ситуації поблизу неоднорідностей дороги (в'їзди, з'їзди і звуження).

Для опису нерівноважних ситуацій замість детермінованого рівняння $V(x, t) = V_e(\rho(x, t))$ було запропоновано використовувати диференціальне рівняння

для моделювання динаміки середньої швидкості. Вперше запропоноване Пейном (Payne) в 1971 році рівняння швидкості мало вигляд:

$$v_t + vv_x = \frac{-c(\rho)}{\rho} \rho_x + \frac{1}{\tau} (V_e(\rho) - \rho) \quad (4.3.34)$$

де:

$$c(\rho) = \frac{-1}{2\tau} \frac{dV_e}{d\rho} \quad (4.3.35)$$

Рівняння (4.3.34) було виведено з мікроскопічного опису руху окремих автомобілів відповідно до моделі слідування за лідером. Доданок vv_x називається конвекційним і описує зміну швидкості в даному місці дороги за рахунок кінематичного перенесення автомобілів з попереднього сегмента дороги з середньою швидкістю потоку. Перший доданок в правій частині називається випереджувальним і описує тенденцію до скорочення швидкості при зростанні щільності. Найбільш загальна форма попереджувального члена має вигляд:

$$\frac{-c_0^2}{\rho} \partial_x \rho \quad (4.3.36)$$

Другий доданок в правій частині називається релаксаційним і описує тенденцію наближення середньої швидкості v до рівноважного, при даній щільності, значення $V_e(\rho)$, τ - характерний час релаксації.

Аналіз емпіричних даних показує, що при високих значеннях щільності ламінарний рух транспортного потоку стає нестійким, і малі збурення призводять до виникнення старт-стоп хвиль. Саме стійкість в лінійному наближенні до малих збурень при всіх значеннях щільності стаціонарного однорідного рішення $\rho(x, t) \equiv \rho_0$, $V(x, t) \equiv V_e(\rho_0)$ рівняння Пейна є його істотним недоліком. Цей недолік можна усунути наступною зміною в упереджувальному члені рівняння

$$c(\rho) = \frac{d}{d\rho} P_e(\rho), \quad P_e(\rho) = \rho \theta_e(\rho). \quad (4.3.37)$$

Тут P – внутрішній тиск транспортного потоку, виражений через варіацію швидкостей в потоці Θ . Тоді рівняння швидкості при такій заміні набуває вигляду [32]:

$$v_t + vv_x = \frac{-1}{\rho} \partial_x P_e + \frac{1}{\tau} (V_e(\rho) - v) \quad (4.3.38)$$

Рівняння (4.3.38) описує поведінку водіїв в залежності від тиску потоку попереду – гальмування при його зростанні і прискорення в протилежному випадку. Для оцінки варіації Θ як функції щільності, застосовуються різні наближення, отримані при аналізі емпіричних даних. Наприклад, в моделях Кюне (Ku \ddot{h} ne) і Кернера-Конхойзера (Kerner-Konhauser) в якості першого наближення використовується позитивна константа [33]: $\Theta_e(\rho) = \Theta_0$.

Рівняння (4.3.38) також передбачає виникнення ударних хвиль. Для запобігання розривів в праву частину додається дифузійний член νv_{xx} , аналог в'язкості в рівняннях гідродинаміки:

$$v_t + \nu v_x = \frac{-\theta_0}{\rho} \rho_x + \nu v_{xx} + \frac{1}{\tau} (V_e(\rho) - v) \quad (4.3.39)$$

Аналіз стійкості стаціонарного однорідного рішення показує, що при значеннях щільності, що перевищують критичне значення, рішення стає нестійким до малих збурень. Ця властивість дозволяє моделювати виникнення фантомних заторів - режимів старт-стоп хвиль в однорідному потоці, що виникають в результаті малих випадкових збурень. Відома модель цього класу - модель Кернера-Конхойзера. Стандартна модель [33] передбачає рівняння в формі:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{1}{\tau} (V(\rho) - v) - c_0^2 \frac{\partial L(\rho)}{\partial x} + \frac{\mu \partial^2 v}{\rho \partial x^2}. \quad (4.3.40)$$

Права частина (82) містить три коефіцієнта, що стосуються швидкості транспортного потоку. Перший член відображає тенденцію потоку на заданій щільності ρ до зниження середньої швидкості $V(\rho)$ до деякої природної величини. При малих щільностях ця швидкість визначається дорожніми умовами і обмеженнями по швидкості руху і слабо залежить від ρ . При високій щільності, $V(\rho)$ наближається до нуля і слабо залежить від ρ . При середніх щільності вона швидко падає і сильно обумовлена тим фактом, що при високій щільності потоку водіям складно зробити обгін. Таким чином ми припускаємо, що $V(\rho)$ буде спадною функцією з малою похідною при великих і малих ρ . Другий - фактор попередження, означає, що водії знижують швидкість, якщо попереду потік транспорту має більш високу щільність. Безрозмірна функція $L(\rho)$ повинна в такому разі бути монотонно зростаючою. Її зазвичай вважають рівною $\ln \rho$, а величина $c_0^2 \rho$ грає роль тиску. Останній член – "в'язкість" або "дифузія", відображає тенденцію узгодження швидкості руху зі швидкістю оточуючих автомобілів в потоці.

Стохастичні моделі

Однією з найважливіших характеристик перехрестя є довжина черги автомобілів, які очікують проїзду. Побудуємо просту модель утворення черги на перехресті зі світлофорним регулюванням. Розглянемо перетин двох доріг з одностороннім рухом. Нехай τ^+ – тривалість горіння зеленого світла, а τ – тривалість всього циклу світлофора. Припустимо, що коли для однієї смуги загорілося червоне світло, зелене світло для другої смуги загоряється через деякий час, щоб автомобілі що "проскочили" встигли проїхати.

Нехай потік автомобілів, що проходять через точку А (деяку точку на ділянці дороги перед перехрестям), є найпростіший потік з параметром λ , $\lambda > 0$. При накопиченні автомобілів в системі точка А зміщується вліво (рис. 4.3.3).

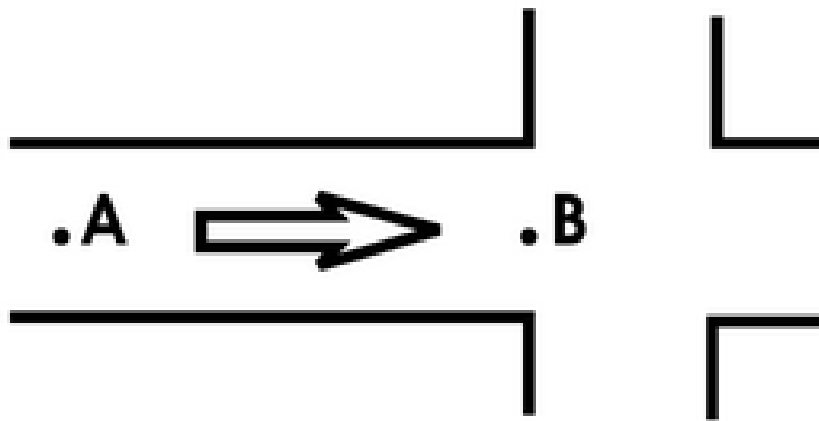


Рисунок 4.3.3 – Модель черги на перехресті

Автомобілі, що надходять в систему, або перетинають перехрестя (отримують обслуговування як запити), якщо проїзд вільний і горить зелене світло, або стають в чергу біля перехрестя. Припустимо, що водії не їдуть на червоне світло, навіть якщо на перетинаючій смугі порожньо.

Обслуговуванням одного автомобіля в рамках даної моделі є проїзд через точку В – початок перехрестя. Прийmemo час проїзду через точку В однаковим для всіх автомобілів і рівним T , $T > 0$. За цей час наступний автомобіль під'їжджає до перехрестя (точці В) і чекає свого обслуговування. Таким чином, поведінка перехрестя буде описуватися за допомогою однолінійної системи масового обслуговування (СМО) з очікуванням і буфером розміру M (максимальне число автомобілів, здатних поміститися на дорозі), $M \in \mathbb{N}$.

Будемо шукати середню довжину черги. Припустимо, що перед перехрестям може стояти не більше M автомобілів, $M \geq 1$. Кожен автомобіль займає одну клітинку (однакової довжини для всіх автомобілів). Коли перший автомобіль проїжджає через перехрестя, інші, які стоять в черзі, посуваються на одну клітинку вперед.

Підрахуємо, скільки автомобілів можуть проїхати перехрестя за період горіння зеленого світла. За одиницю часу через перехрестя можуть проїхати T^{-1} автомобілів. Значить, на зелене світло через перехрестя можуть проїхати $\tau^+ T^{-1}$ автомобілів. Таким чином, величина

$$N =$$

являє собою пропускну здатність перехрестя за час горіння зеленого світла, де $[\cdot]$ є ціла частина числа.

Розглянемо накопичення автомобілів в системі за час одного циклу світлофора. Будемо вивчати поведінку системи в моменти часу nT , $n = 0, N$, тобто моменти початку періоду зеленого світла і моменти закінчення обслуговування запитів (автомобілів). Позначимо через $\rho_i^{(n)}$ ймовірності того, що в момент часу $nT + 0$ (безпосередньо відразу після відходу автомобіля з черги) довжина черги становить i автомобілів, $n = 0, N$, $i = 0, M$. Позначимо також через $P_i(t)$ ймовірність того, що за час t в систему прийдуть i автомобілів, $i \geq 0$. Вираз для $P_i(t)$ має вигляд:

$$P_i(t) = e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^i}{i!}, i \geq 0$$

Рівняння для ймовірностей $\rho_i^{(n)}$, $n = 0, N$, $i \geq 0$ мають вигляд:

$$\begin{aligned} \rho_i^{(0)} &= \sum_{k=0}^i \rho_k^{(N)} P_{i-k}(\tau), \quad i = 0, M, \\ \rho_M^{(0)} &= \sum_{k=0}^M \rho_k^{(N)} \sum_{l=M-k}^{\infty} P_l(\tau), \quad \tau = \tau - NT \\ \rho_i^{(n)} &= \sum_{k=1}^{i+1} \rho_k^{(n-1)} P_{i-k+1}(T), \quad i = 0, M-1, \\ \rho_M^{(n)} &= \sum_{k=0}^M \rho_k^{(n-1)} \sum_{l=M-k+1}^{\infty} P_l(T), \quad n = 1, N, \end{aligned} \quad (4.3.41)$$

причому кожна група ймовірностей $\rho_i^{(n)}$, $i = 0, M$ задовольняє умовам нормування

$$\sum_{i=0}^M \rho_i^{(n)} = 1, \quad n = 0, N. \quad (4.3.42)$$

Позначимо через $A_i = P_i(\tau)$, $\hat{A}_i = \sum_{l=i}^{\infty} P_l(\tau)$, $B_i = P_i(T)$, $\hat{B}_i = \sum_{l=i}^{\infty} P_l(T)$, $i \geq 0$ і розпишемо систему (4.3.41) більш детально:

$$\begin{aligned} \rho_0^{(0)} &= \rho_0^{(N)} A_0 \\ \rho_1^{(0)} &= \rho_0^{(N)} A_1 + \rho_1^{(N)} A_0 \\ \rho_M^{(0)} &= \rho_0^{(N)} A_M + \rho_1^{(N)} A_{M-1} + \dots + \rho_M^{(N)} A_0 \end{aligned} \quad (4.3.43)$$

де $A_i = P_i(\tau)$, $B_i = P_i(T)$.

$$\rho_0^{(n)} = \rho_0^{(n-1)} B_1 + \rho_1^{(n-1)} B_0 \quad (4.3.44)$$

$$\rho_1^{(n)} = \rho_0^{(n-1)} B_2 + \rho_1^{(n-1)} B_1 + \rho_2^{(n-1)} B_0$$

$$\rho_M^{(n)} = \rho_0^{(n-1)} \dot{B}_{M+1} + \rho_1^{(n-1)} \dot{B}_M + \dots + \rho_M^{(n-1)} \dot{B}_1, \quad n = 1, \dots, N$$

Запишемо системи (4.3.43) і (4.3.44) у матричному вигляді

$$\begin{aligned} \vec{\rho}^{(0)} &= \vec{\rho}^{(N)} \hat{A}, \\ \vec{\rho}^{(1)} &= \vec{\rho}^{(0)} \hat{B}, \\ \vec{\rho}^{(2)} &= \vec{\rho}^{(1)} \hat{B}, \\ \vec{\rho}^{(N)} &= \vec{\rho}^{(N-1)} \hat{B}, \end{aligned} \quad (4.3.45)$$

де

$$\vec{\rho}^{(n)} = (\rho_0^{(n)}, \rho_1^{(n)}, \dots, \rho_M^{(n)}), \quad n = 0, \dots, N,$$

$$\hat{A} = \begin{bmatrix} A_0 & A_1 & A_2 & \dots & \dot{A}_{M-1} \\ 0 & A_0 & A_1 & \dots & \dot{A}_{M-2} \\ 0 & 0 & A_0 & \dots & \dot{A}_{M-3} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \dot{A}_0 \end{bmatrix},$$

$$\hat{B} = \begin{bmatrix} B_1 & B_2 & \dots & B_M & \dot{B}_{M+1} \\ B_0 & B_1 & \dots & B_{M-1} & \dot{B}_M \\ 0 & B_0 & \dots & B_{M-2} & \dot{B}_{M-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & B_0 & \dot{B}_1 \end{bmatrix}.$$

Із системи (4.3.45) і умов нормування (42) при $n = 0$ знаходимо значення для вектора $\vec{\rho}^{(0)}$

$$\begin{cases} \vec{\rho}^{(0)} = \vec{\rho}^{(0)} B^N A, \\ \vec{\rho}^{(0)} \mathbf{1} = 1, \end{cases}$$

де $\mathbf{1} = (1, 1, \dots, 1)^T$

Інші вектори ймовірностей знаходимо за допомогою рівностей

$$\vec{\rho}^{(n)} = \vec{\rho}^{(n-1)} \hat{B}, \quad n = 1, \dots, N.$$

Тоді середня довжина черги на перехресті до моменту початку періоду зеленого світла дорівнює:

$$L = \sum_{i=0}^M i \rho_i^{(0)}.$$

Мікроскопічні моделі

Моделі слідування за лідером

Крім випадку дуже малих інтенсивностей рух будь-якого автомобіля обмежено автомобілем, що йде попереду (рис. 4.3.4).

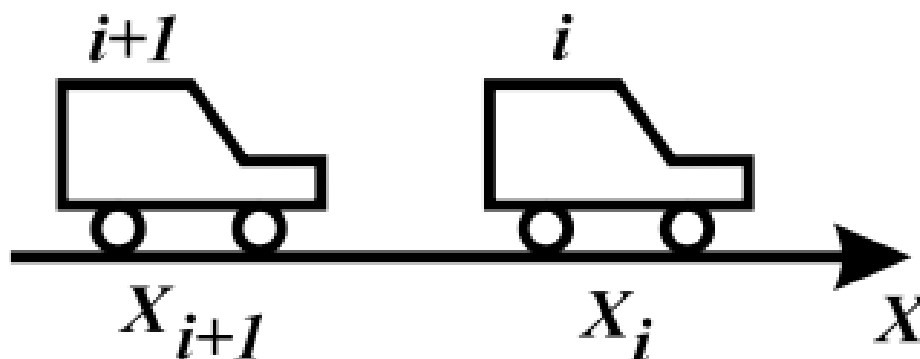


Рисунок 4.3.4 – Порядок слідування автомобілів

Спочатку передбачалося, що кожен водій погодить свою швидкість зі швидкістю попереду автомобіля, що йде [76]:

$$\dot{x}(t) = \frac{1}{\tau} (\dot{x}_i(t) - \dot{x}_{i+1}(t)) \quad (4.3.46)$$

де τ – час узгодження швидкостей (рис. 4.3.4).

Дана модель не описує властивостей нестійкості, виникнення ударних хвиль і заторів. Пізніше був запропонований ряд модифікацій. Наприклад, в [77] в ліву частину рівняння (4.3.46) додають затримку $t_d \approx 1,3$ с, що описує час реакції водія на зміну швидкості лідируючого автомобіля. Множник $1/\tau$ в інтерпретується як коефіцієнт чутливості α , що характеризує швидкість реакції водія. Тоді (4.3.46) можна записати у вигляді диференційно-різницевого рівняння:

$$\dot{x}_i(t + t_d) = \alpha (\dot{x}_i(t) - \dot{x}_{i+1}(t)) \quad (4.3.47)$$

При $\alpha = \text{const}$ умова нестійкості рівняння (4.3.47) має вигляд $t_d / \tau > 1/2$. Наявність нестійкості дозволяє моделювати ударні хвилі і затори, але припущення про незмінність чутливості не дозволяє відтворити фундаментальну діаграму. Більш адекватна модель виходить при обліку зростання чутливості зі зменшенням дистанції до лідируючого автомобіля. З цієї точки зору Газіс та ін. [36] перетворили рівняння (4.3.47):

$$\dot{x}_{i+1}(t + t_d) = \alpha (\dot{x}_{i+1}(t + t_d))^{n1} \frac{\dot{x}(t) - \dot{x}_{i+1}(t)}{(x_i(t) - x_{i+1}(t))^{n2}} \quad (4.3.48)$$

і виконали оцінку коефіцієнтів n_1 і n_2 за експериментальними даними. Було знайдено, що коефіцієнт кореляції між $x_{i+1}(t + t_d)$ і $(x_{i+1}(t + t_d))^{n_1} (x_i(t)x_{i+1}(t)) / (x_i(t) - x_{i+1}(t))^{n_2}$ дорівнює 0,87; 0,78 і 0,73 для $(n_1, n_2) = (1, 2)$; $(0, 1)$ і $(0, 2)$ відповідно і приймає менші значення близько 0,2–0,5 для інших цілочисельних комбінацій параметрів n_1 і n_2 . Найпростіший випадок: $n_1 = 0$ і $n_2 = 0$:

$$\dot{x}_{i+1}(t + t_d) = \alpha \frac{x_i(t) - \dot{x}_{i+1}(t)}{x_i(t) - x_{i+1}(t)} \quad (4.3.49)$$

часто використовується для моделювання і теоретичного аналізу.

Після інтегрування виразу (4.3.49), отримуємо:

$$\dot{x}_{i+1}(t + t_d) = \ln(\rho_{max}(x_i(t) - x_{i+1}(t))) \quad (4.3.50)$$

де ρ_{max} – константа, що описує рух автомобілів в щільному потоці на дуже близькій відстані – "бампер-до-бампера".

Коли транспортний потік є стаціонарним, щільність ρ виражається формулою $\rho = 1 / (x_i(t) - x_{i+1}(t))$, а так як швидкість в стаціонарному режимі постійна, то:

$$v = \frac{1}{\tau} \ln \frac{\rho_{max}}{\rho} \quad (4.3.51)$$

Вираз (3.3.51) ідентичний рівнянню (4.3.17), і ми з мікроскопічної моделі слідування за лідером отримуємо макроскопічну модель Грінберга.

Клітинні автомати

Застосування концепції клітинного автомата фон Неймана для моделювання транспортних потоків вперше було запропоновано у 1997р. Активні розробки почалися з робіт Нагеля і Шрекенберга. В даний час є великий набір публікацій по клітинним автоматам.

Формулювання початкової моделі Нагеля-Шрекенберга полягає в наступному [77]. Нехай x_n і v_n координата і швидкість n -го автомобіля, $d_n = x_{n+1} - x_n$ – дистанція до лідируючого автомобіля. Швидкість може приймати одне з $v_{max}+1$ допустимих цілочислових значень $v_n = 0, 1, 2, \dots, v_{max}$. На кожному кроці $t \rightarrow t+1$ стан всіх автомобілів в системі оновлюється відповідно до наступних правил:

1. *Прискорення.* Якщо $v_n < v_{max}$, то швидкість n -го автомобіля збільшується на одиницю, якщо $v_n = v_{max}$, то швидкість не змінюється:

$$v_n \rightarrow \min(v_n + 1, v_{max}) \quad (4.3.52)$$

2. *Гальмування.* Якщо $d \leq v_n$, то швидкість n -го автомобіля зменшується до $d_n - 1$:

$$v_n \rightarrow \min(v_n, d_n + 1) \quad (4.3.53)$$

3. *Випадкові збурення.* Якщо $v_n > 0$, то швидкість n -го автомобіля може бути зменшена на одиницю з ймовірністю p ; швидкість не змінюється, якщо $v_n = 0$:

$$v_n \rightarrow \max(v_n - 1, 0) \quad (4.3.54)$$

4. *Рух.* Кожен автомобіль просувається вперед на кількість осередків, відповідну його новій швидкості після виконання кроків 1-3:

$$x_n \rightarrow x_n + v_n \quad (4.3.55)$$

Перший крок (4.3.52) відображає загальне прагнення всіх водіїв їхати якомога швидше. Другий (4.3.53) гарантує відсутність зіткнень з попереду їдучими автомобілями. Елемент стохастичності, що враховує випадковості в поведінці водіїв вноситься на третьому кроці (4.3.54).

Транспортні затори

На сьогоднішній день не існує загальноприйнятого визначення затору (пробки). Карлос Даганзо (Carlos F. Daganzo) вважає, що на вільній дорозі транспортний потік не утворює черг, якщо мале збурення швидкостей, що виникло в певній точці дороги, не поширюється вгору по потоку. І навпаки, якщо збурення швидкостей, що виникло на деякій ділянці, поширюється за його межі, то в транспортному потоці утворюються скупчення і виникають затори.

Зазвичай описуються поодинокі пробки і серія пробок.

Поодинокі пробки

Поодинокі затори можуть бути викликані умовами дорожнього руху, наприклад, червоним світлом світлофора, аварією, звуженням і т.п. У такій ситуації умову перевищення припливу в пробку над відтоком виконати легко: наприклад, якщо звуження має пропускну здатність q_{bn} , а приплив q_{in} , то якщо $q_{in} > q_{bn}$, пробка буде рости. Теоретично така поведінка схожа з поведінкою черги, описуваної теорією масового обслуговування, за винятком наявності просторового виміру - пробка росте з хвоста. Таке просторове зростання добре описується теорією кінематичних хвиль.

Емпіричні дані показують, що пробки часто виникають на однорідній ділянці дороги, і виглядають як би "вставленими" в вільний потік. Нехай,

наприклад, причиною такої пробки стала аварія, яка самоліквідувалася через деякий час. Розглянемо n , $n \in \mathbb{N}$ транспортних засобів, що стоять один за одним на односмуговій дорозі. У перший момент часу може поїхати перша машина, потім друга і т. п. За цей час в хвіст пробки може прилаштуватися ще кілька машин. Задавши симетричні умови відтоку і припливу автомобілів в пробку, отримаємо область машин на дорозі, що мають нульову швидкість, що зміщується назустріч потоку. З точки зору водія, влаштувався в хвіст - пробка "проходить через нього". Він спочатку зупиняється, а через деякий час може знову продовжити рух. Це стандартне хвильове явище, добре описуване теорією кінематичних хвиль.

Серія пробок

Спостереження показують, що відтік транспортних засобів з пробки становить в середньому один транспортний засіб за дві секунди для однієї смуги руху. Позначимо його через q^* . Тоді пробка буде рости, якщо $q_{in} > q^*$.

Наприклад, якщо вдалині трапляється аварія, то за умов однорідності на виході з цієї аварії значної пробки не утвориться. Дійсно, якщо на виході з першої пробки з'явиться потік q^* , то з другої пробки потік складе ту ж величину q^* . Таким чином виникає питання: чи може потік підтримувати значення вище q^* (т.зв. суперкритичний потік [73]), і якщо так, то як? Відповідь на питання поки не знайдено.

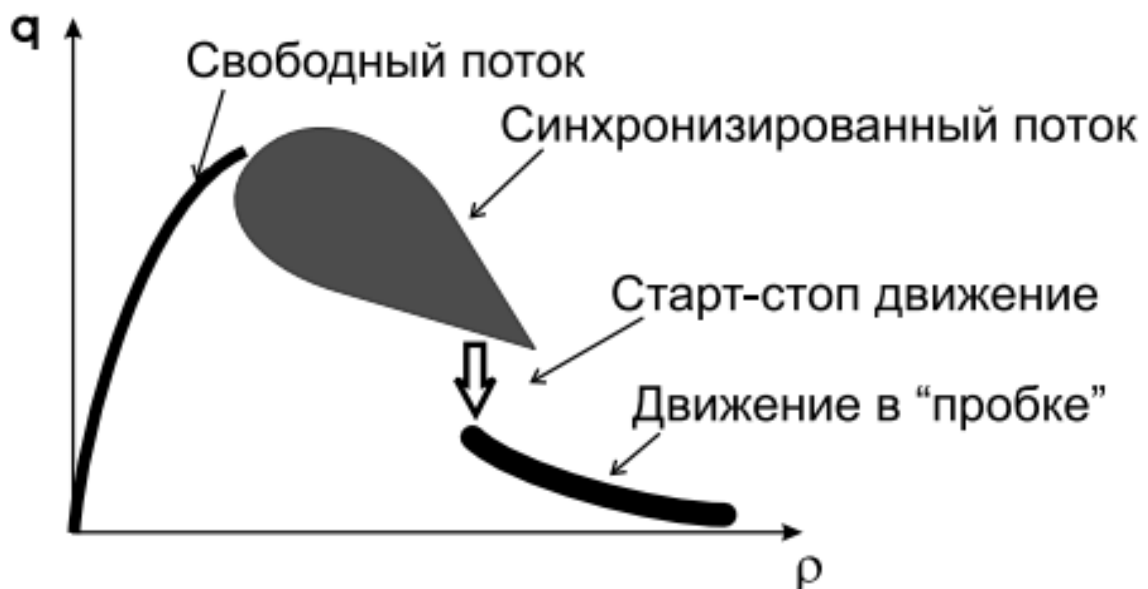


Рисунок 4.3.5 – Фазові стани потоку на багаторядних магістралях

Класифікація фаз потоку

Борис Кернер (Boris S. Kerner) [80] запропонував наступну класифікацію фаз руху транспортного потоку (рис. 4.3.5):

1. Вільний потік. Поки дорога не завантажена, водії дотримуються бажаної швидкості, вільно переходячи на сусідні смуги. На цій стадії автомобілі можна порівняти з потоком вільних частинок.

2. Синхронізований потік. Коли дорога стає переповненою, водії втрачають можливість вільно маневрувати і змушені узгоджувати свою швидкість зі швидкістю потоку. Ця стадія подібна потоку води.

3. Широкі переміщуючіся затори. Тут автомобілі (групи автомобілів) подібні шматочкам льоду, що рухаються в потоці рідини.

4. Старт-стоп рух. При великому скупченні автомобілів рух потоку набуває переривчастий характер. На цій стадії транспортний потік можна уподібнити потоку замерзлої води, автомобілі стають на якийсь проміжок часу як би "приклеєним" до цієї точки дороги.

Таким чином, при малих і дуже високих щільностях спостерігається кореляція між потоком і щільністю, а для проміжних щільностей певної гілки на фундаментальній діаграмі не існує через сильну залежність від специфіки конкретної дорожньої мережі. Неодноразово намагалися пояснити ці особливості [73]. Роботи про "перетворення λ -форми фундаментальної діаграми" (Koshi et. Al., 1983), "гістерезису" (Treiterer і Myers, 1974), "теорії катастроф" (Persaud і Hall, 1989), "падіння пропускної здатності" (Hall і Agyemang-Duah, 1991) і т. п., вказують на можливість існування суперкритичних потоків (Рис. 4.3.6). Інші дослідження (Hall et. Al., 1992; Windover і Cassidy, 2001) показують, що такі вимірювання викликані геометричною будовою дороги (наприклад, наявністю звуження).

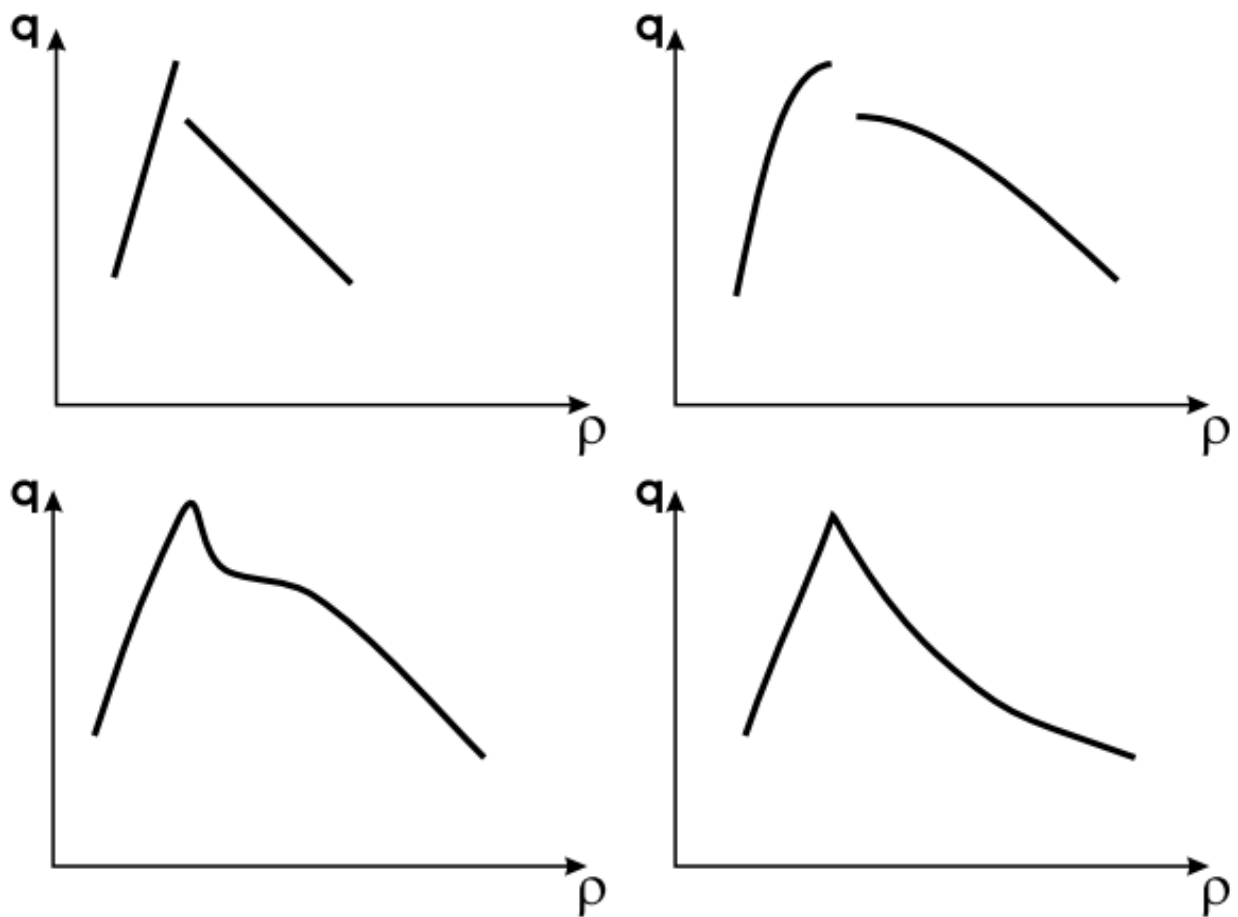


Рисунок 4.3.6 – Теоретичні апроксимації емпіричної фундаментальної діаграми

Однак залишається незрозумілим, як можуть виникати затори, тобто як потік, що знаходиться у вільному режимі, розпадається і переходить в змішаний - вільно-заторний (старт-стоп рух). З одного боку, аналіз показує, що часто є зовнішні причини. З іншого боку, експерименти з їздою по колу показали спонтанний розпад потоку. В цьому експерименті водіїв просили їхати з максимальною швидкістю. У таких штучних умовах для розпаду потоку було потрібно близько 10 хвилин.

Для синхронізованого режиму руху не зрозуміло, чи викликаний сильний розкид даних наявністю з'їздів-в'їздів, або він має статистичну природу, наприклад, через взаємодію різних типів автомобілів і різних манер водіння.

Причина затору – геометричні особливості дороги

Даганзо в роботі висуває гіпотезу про те, що причина пробок криється в "вузьких місцях" - звуженнях і розширеннях дороги, як постійних, так і тимчасових. Вони є причиною утворення, росту і поширення черг на дорогах. Даганзо визначає кілька типів "вузьких місць":

- Активні "вузькі місця". Між двома ділянками дороги є активне "вузьке місце", якщо висхідний транспортний потік перевантажений (викликає черзі), а спадний є вільним. Виявлення активних "вузьких місць" на ділянках дороги ефективно для запобігання транспортних пригод.

- Злиття. Теорія для "зливаючихся" вузьких місць стверджує, що максимально стійкий потік, що виходить із злиття, існує тільки тоді, коли умови для низхідного потоку являються завантаженими. Ця риса називається ємністю (capacity). Якщо сума вхідних потоків перевищує місткість злиття, вихідний потік заповнює ємність злиття повністю, а решта потоку формує чергу. Черга зростає як по одному, так і по кількох під'їздах до злиття. Експерименти показують, що на одних ділянках потік стає переповненим через 10 хв, а на інших – не буває переповненим.

- Розширення. Різновид кількох активних "вузьких місць" на дорозі. Якщо потік, що перетинає одну з гілок розширення, перевищує його пропускну здатність протягом деякого часу, то в загальному під'їзді до розширення може вирости черга. Якщо цей під'їзд вузький, черга повинна розсмоктуватися з дисципліни буфера – "першим увійшов першим вийшов" (FIFO) – таким чином, що будуть накопичуватися і затримуватися транспортні засоби, які повинні їхати по іншій гілці розширення дороги. Подібна ситуація може мати місце і тоді, коли один з під'їздів широкий.

- Інші типи вузьких місць. Заторну активність можна виявити на вертикальних і горизонтальних викривленнях дороги ("гірки" і прогини), в тунелях, на похилих ділянках і інших місцях зміни характеристик і однорідності дороги. Затори викликаються також тимчасовими зовнішніми причинами, такими як ДТП, відволікаюча увагу водія активність близько дороги і навіть інформаційні щити.

Затримки транспортних засобів

Більшість теорій стверджують, що затримки транспортних засобів залежать від двох компонент: від часу, протягом якого автомобіль проїхав би через заторне місце при відсутності черги і від поведінки потоку в межах заторної ділянки. Тобто практично, час затримки не залежить від структури черги і, отже, керуючі дії потрібно спрямовувати не на чергу, а на самі заторні ділянки.

Численні стійкі стани і хаос

В літературі не вдається знайти результатів систематичних досліджень властивостей транспортного потоку засобами нелінійної динаміки, однак, є певна кількість публікацій, які відображають зв'язок понять хаосу і транспортного потоку. У 1961 році І. Пригожиним і співавторами вперше була

сформульована кінетична модель транспортного потоку у вигляді наступного диференціального рівняння:

$$\partial_t f + \partial_x(fv) = \left(\frac{\partial f}{\partial t}\right)_f + \left(\frac{\partial f}{\partial t}\right)_{rel} \quad (4.3.56)$$

Дане рівняння, як і рівняння (3.4), є рівнянням нерозривності, що виражає закон збереження автомобілів, але вже в фазовому просторі, тобто щільності розподілу автомобілів по координаті та швидкості. Складові в лівій частині описують зміну фазової щільності і за рахунок кінематичного перенесення, в той час як складові в правій частині описують процес миттєвих змін швидкостей автомобілів за рахунок, так званих, процесів взаємодії та релаксації.

Згідно Пригожини, під взаємодією двох автомобілів на дорозі розуміється подія, при якій більш швидкий автомобіль наздоганяє повільніший. При цьому водій швидкого автомобіля або здійснює обгін, або знижує свою швидкість до швидкості попереду їдучого автомобіля. Швидкості автомобілів в потоці не корельовані до і після взаємодії, тобто вірна гіпотеза "автомобільного хаосу" (за аналогією з "молекулярним хаосом").

Емпіричні аргументи на користь хаосу в потоці транспорту можна знайти в роботах Кернера і Реборна (Kerner, Rebhorn, 1997) і Кернера (Kerner, 1999). У них було показано, що локальні пробки можуть існувати поки зберігаються їхні характеристичні властивості протягом декількох годин. Тобто, перешкода на мікрорівні в транспортному потоці може привести утворення пробок.

Рейнхард Кюне (Reinhard D. Ku"hne) проаналізував можливе рівняння моменту для транспортного потоку виду:

$$\partial_t v + v \partial_x v = \frac{-c_0^2}{\rho} \partial_x \rho + \frac{1}{\tau} (V(\rho) - v) + v \partial_x^2 v \quad (4.3.57)$$

доповнене для повноти системи рівнянням безперервності:

$$\partial_t \rho + \partial_x(\rho v) = D \partial_x^2 \rho \quad (4.3.58)$$

Для цього рівняння однорідне рішення (v, ρ) (v_0, ρ_0) нестабільно для близьких до максимальних щільностей потоку транспорту при відповідному виборі параметрів. Використовуючи методи нелінійної динаміки Р. Кюне і ін. визначили безліч фіксованих точок стійкості і нестійкості та граничні цикли, які означають, що транспортний потік при близькій до максимальної щільності, функціонує на дивному аттракторі.

В роботі стверджується, що можна побудувати прості мережі з джерелами, стійкими по відношенню до вихідних потоків. Така стійкість може зберігатися в двох випадках:

- при насиченій на всьому протязі дороги конфігурації, коли деякі черги поширюються проти джерел, і тим самим, блокують потоки, що відходять від них;

- при ненасиченій конфігурації черг, що дозволяє всім джерелам безперешкодно об'єднувати свої потоки.

Крім того, в таких типах мереж тимчасове збурення може постійно змінювати стан насичення мережі. Виникаючі зміни можуть "за ланцюговою реакцією" викликати подальші зміни. Поведінка транспортного потоку в переповнених мережах зі зв'язаними заторними ділянками є за своєю природою хаотичною. Цей факт і неможливість на сьогоднішній день точно передбачити деякі основні початкові дані (наприклад, маршрут, обраний водієм) змушує переосмислити роль прогнозуючих моделей.

Основні висновки

Сучасні уявлення, що лежать в основі макромоделей транспортного потоку, почали формуватися з 80-х років ХХ століття. Спочатку вважалося, що ансамблі машин на магістралях проявляють відтворювані властивості, які залежать не від особливостей окремих водіїв, а тільки від технічних характеристик автомобілів, відстанню між ними і реакцією водіїв. Коли дистанція між водіями стає нижче критичного значення, затримка в реакції водіїв призводить до нестійкості руху – старт-стоп хвилям. Пізніше Кернер і Реборн виявили ще кілька фаз. У підсумку, сучасні уявлення про стадії транспортного потоку склалися в наступну картину:

- поведінка транспортного потоку уподібнюється фазовим переходам газ → рідина → замерзаюча рідина → лід;

- причина фазових переходів лежить в надрах самого транспортного потоку – підхід виявився плідним і привів до відкриття кластерів на автострадах (Кернер-Конхойзер);

- вплив зовнішніх факторів на поведінку потоку розглядається як неминуче зло і виступає в ролі флуктуацій - узагальнення різноманітних збурюючих впливів на транспортний потік;

- основну увагу дослідники приділяють моделюванню переходу рідина → замерзаюча рідина, як на самому важко відтворюваному в силу його нелінійності;

Схоже, цей підхід вичерпав ресурси розвитку. Останнім часом зароджуються нові уявлення:

- поведінка транспортного потоку визначається звуженнями і розширеннями дороги, причому ці поняття трактуються гранично спільно;
- основним об'єктом дослідження повинні виступати черги (їх властивості, структури, поведінка та ін.), що виникають близько звужень;
- для прийнятних пророкувань поведінки потоку досить побудувати групу простих моделей звужень дороги.

3.2. Оцінка впливу транспортних потоків (оцінка безпеки руху) 3.2. Traffic Impact Assessment (Traffic Safety Assessment)

Загальні відомості

Як і в реальному житті так і в моделях руху транспортних засобів в PTV Vision® VISSIM на режим руху на тому чи іншому відрізку мережі впливають не тільки технічні характеристики транспорту, що беруть участь в русі, конфігурація ділянки моделювання та інтенсивність транспортного потоку, але й поведінка водіїв при управлінні ТЗ. При дослідженні деякі водії поводяться «агресивніше», інші – не дотримуються безпечної дистанції по відношенню до транспорту, що рухається попереду, активно використовують можливості свого автомобіля при прискоренні та гальмуванні, часто маневрують, змінюючи смугу руху, роблять обгони і т.д. Сукупність подібних дій водія, описана певними параметрами, формує психофізіологічну модель поведінки водія, або манеру їзди. Психофізіологічна модель поведінки водія (манера їзди), яка формується в процесі моделювання в програмному комплексі PTV Vision® VISSIM, включає набір факторів, які представляють, в свою чергу, сукупність типових поведінкових ситуацій, а саме:

- 1) поведінка водія при русі за ТЗ, що рухається попереду;
- 2) поведінка водія транспорту при зміні смуги;
- 3) поведінка водія по відношенню до транспорту, що розташований збоку;
- 4) реакція водія на перемикання сигналів світлосигнальних установок.

Слід зазначити, що фактори, які впливають на формування психофізіологічної моделі, можуть змінюватися в залежності від:

Категорії дороги : було виявлено, що категорія дороги впливає на швидкість ТЗ, а в залежності від швидкості змінюється і дистанція безпеки до транспорту, що попереду;

1. Дорожньої розмітки – при наближенні до суцільних ліній повздовжньої розмітки або перелаштування до необхідної смуги стає більш різким, через що також може зменшитися рекомендована дистанція безпеки;

2. Ширини смуги – при її збільшенні можливі ситуації, при яких транспорт на одній смузі рухається в дві колони, і в цьому випадку дуже важливо враховувати різні поведінки водіїв по відношенню до ТЗ, що рухається збоку;

3. Реакції на світлофорні об'єкти – за відсутності зеленого сигналу світлофора може виникнути ситуація, коли водій не встигає вчасно зреагувати на жовтий сигнал світлофора і продовжує рух, замість того щоб припинити його, застосувавши екстрене гальмування.

Фактори, що впливають на формування психофізіологічної моделі в PTV Vision® VISSIM можна редагувати в меню «Базові дані», пункт меню «Манера їзди» (рис. 4.3.7). кожна манера їзди (або психофізіологічна модель) містить набір параметрів, які розподілені за відповідними вкладками.

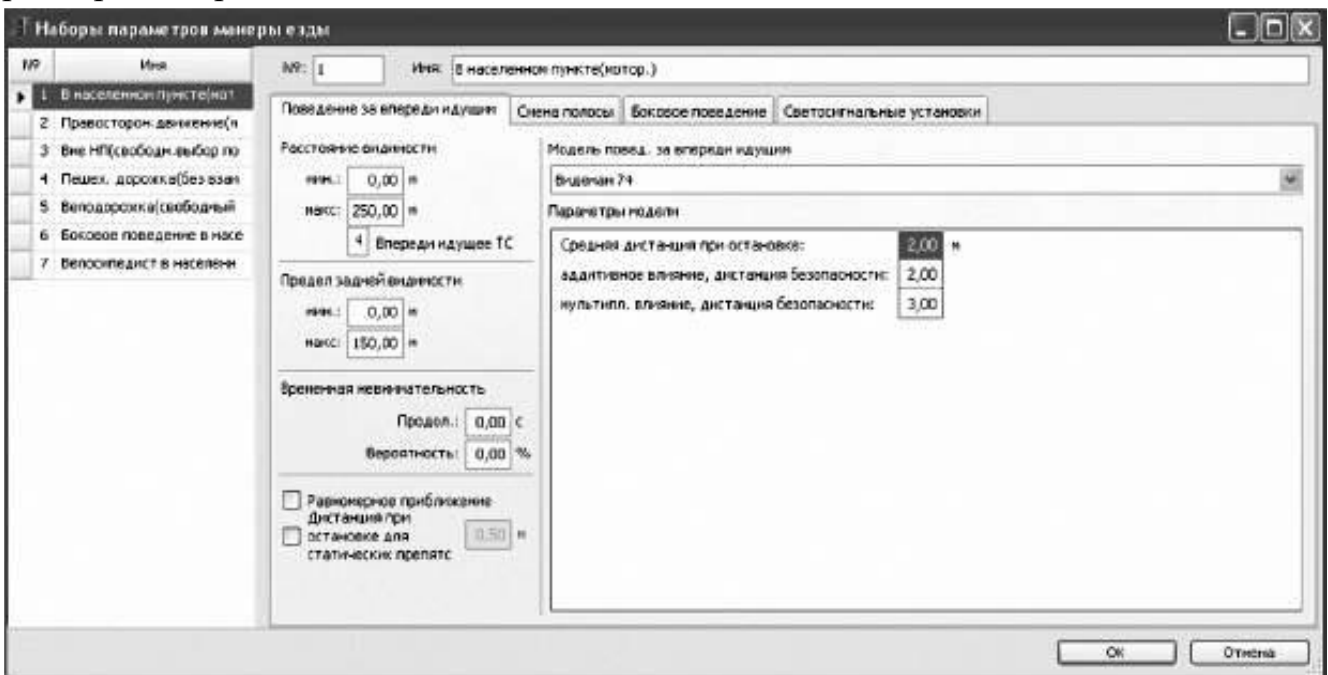


Рисунок 4.3.7 – Вікно редагування «Манера їзди»

Для кожної манери їзди можна виділити чотири однакових фактори:

1. *Поведінка водія при русі за ТЗ, що рухається попереду.* Вона характеризується рядом параметрів.

1.1. Відстань видимості, м – це максимально відстань, при якому водій здатний бачити і аналізувати простір перед собою, і, відповідно, може зробити якісь висновки про те, як йому здійснювати рух далі. Характеризується такими параметрами, як:

- мінімальна відстань видимості, м – враховується при наявності ТЗ, що рухаються іншою колоною тією ж смугою. Так, якщо в межах смуги допускається обгін, то значення мінімальної відстані видимості має бути більше 0. Цей параметр дозволяє в подібних випадках уникнути хаотичного перетину ТЗ (до таких ситуацій можна віднести таку, при якій ТЗ хочуть перелаштуватися перед стоп-лінією в одному і тому ж місці);

- максимальна відстань видимості, м – найбільша відстань, яку водій здатний оцінювати перед собою. Дане значення має підвищуватися тільки в

рідкісних випадках, наприклад при моделюванні поведінки водія, керуючого тягачем з високим розташуванням кабіни водія, на прямих ділянках замських доріг або при моделюванні руху поїздів на залізничних шляхах;

- число ТЗ, що йдуть попереду – визначає, наскільки добре водії транспортних засобів, що рухаються в одній колоні, можуть передбачити манеру їзди тих, що ідуть попереду ТЗ і відповідно реагувати на їх поведінку.

1.2. Межі задньої видимості, m – відстань, яка необхідна водієві, щоб відреагувати на транспорт позаду себе. На цей параметр, наприклад, впливає відсоток автомобілів в транспортному потоці, що мають тонування заднього скла (вимірюється в числі ТЗ).

1.3. Тимчасова неуважність – відсутність реакції водія на ТЗ, що рухається попереду в певний проміжок часу. Характеризується: тривалістю (тривалість неуважності визначає, скільки часу вона буде тривати) і ймовірністю (%) того, як часто буде відбуватися дана неуважність. Чим вище значення обох параметрів, тим менше пропускну здатність відрізка.

1.4. Тип моделі поведінки водія при русі ТЗ, що проходить попереду. За цим параметром вибирається базова модель для формалізації поведінки транспорту, тобто метод, за яким буде розраховане пересування ТЗ мережею. Базовою моделлю для формалізації поведінки водіїв ТЗ і моделюванні руху транспортних засобів в PTV Vision® VISSIM є модель Відемана – так звана «модель руху за тим, хто рухається попереду».

Вона має два різновиди: це модель внутрішньоміського руху (Відеман 74) і модель руху по автомагістралі (Відеман 99). Крім того, при визначенні моделі може бути вибраний пункт "Без взаємодії". При такій моделі поведінки транспортні засоби не розпізнають інші ТЗ і, відповідно, ніяк не взаємодіють один з одним (зазвичай використовується для простого моделювання пішохідних потоків). Параметри моделей Відемана детальніше будуть розглянуті в п. 3.1.

2. *Поведінка водія ТЗ при зміні смуги.* В цьому випадку використовуються наступні параметри:

2.1. Необхідна зміна смуги - при русі в щільному транспортному потоці може виникнути ситуація, коли ТЗ не встиг перебудуватися на потрібну смугу заздалегідь і водій уповільнює швидкість і чекає, поки транспорт, що рухається по необхідній смузі, надасть йому можливість змінити смугу. Такі ситуації регламентуються вказаним параметром, який регулюється від значення прийнятного сповільнення (нижня межа, m/c^2) до значення максимального сповільнення (верхня межа, m/c^2).

2.2. Час очікування, s – максимальний час, який водій ТЗ може провести, чекаючи можливості виконати необхідну зміну смуги. Стандартне значення часу очікування – 60 с. Після закінчення цього часу ТЗ видаляється із зони

моделювання. Проте в реальному житті ТЗ не може просто зникнути, а оскільки моделювання повинне відображати існуючу ситуацію, то слід уникати видалення ТЗ. Для того, щоб ТЗ не було видалено, рекомендується збільшувати значення вказаного параметра.

2.3. Мінімальна конфліктна відстань попереду/позаду, м - мінімальна відстань між двома ТЗ, необхідне для того, щоб водій зміг змінити смугу.

2.4. Чинник для зменшення дистанції безпеки – якщо для ТЗ зміна смуги ускладнена, то дистанція безпеки між ним і транспортом, що попереду йде, може бути скорочена. У PTV Vision® VISSIM дистанція безпеки також скорочується, проте дистанція безпеки не може приймати нульове значення. У зв'язку з цим в PTV Vision® VISSIM використовується даний чинник для зменшення дистанції безпеки.

Він зазвичай набуває значень менше 1 і множить на величину безпечної дистанції, внаслідок чого значення безпечної дистанції зменшується.

2.5. Максимальне сповільнення для загального гальмування, m/s^2 - визначає, чи здійснює водій ТЗ гальмування, щоб дозволити транспорту, що йде попереду, перейти на його смугу.

3. *Поведінка водія по відношенню до ТЗ, який рухається збоку.*
Характеризують наступні параметри:

3.1. Бажана позиція при вільному пересуванні – описує бажану позицію ТЗ в межах однієї смуги.

3.2. Збереження бічної дистанції по відношенню до ТЗ на сусідніх смугах – якщо параметр активний, ТЗ почнуть зміщуватися убік при появі транспорту на інших смугах.

3.3. Зміщена установка – враховує форму транспортного засобу. Наприклад, велосипедисти представляються в моделюванні не як прямокутник, а як ромб.

3.4. Облік наступного напрямку повороту – якщо вибраний цей параметр, то обгін транспорту, що рухається у напрямі повороту, заборонено.

3.5. Заощадження часу при зіткненні – параметр, який визначає мінімальне збільшення часу до зіткнення з наступним ТЗ, враховується при маневруванні (за умовчанням – 2 с). Скорочення цього значення призводить до більше жвавої поведінки, оскільки ТЗ починають маневрувати для отримання навіть мінімальної переваги.

3.6. Мінімальна швидкість по прямій – параметр визначає мінімальне значення швидкості, що також допускає бічне переміщення.

3.7. Час між зміною напрямку – при русі часто трапляється, що ТЗ необхідно рухатися по заздалегідь вибраній смузі для виконання подальшого повороту. Проте при моделюванні в PTV Vision® VISSIM може виникнути ситуація, коли

водій захоче, наприклад, обігнати ТЗ, що рухається попереду нього. Для того, щоб уникнути зайвих перелаштувань в таких випадках, і передбачається цей параметр (час між зміною напрямку), який враховує напрям наступного сполучного відрізка, внаслідок чого ТЗ не змінить своє положення, щоб обігнати інший транспорт.

3.8. Обгін на тій же смузі – параметр визначає вибір типів транспорту, яких необхідно обігнати.

3.9. Мінімальна бічна дистанція – визначає мінімальну дистанцію між ТЗ при обгоні в межах смуги. Слід зазначити, що ситуації, коли ТЗ рухаються в декілька колон в межах однієї смуги в населених пунктах рідкісні. Параметри бічної поведінки переглядати недоцільно, оскільки тривалість відрізків, на яких бічна поведінка може виникати, дуже мала (так, що такі відрізки іноді вміщують в себе тільки дві з поруч стоячих ТЗ).

4. Реакція водія на перемикання сигналів світлосигнальних установок.

Використовуються наступні параметри:

4.1. Реакція на жовтий сигнал світлофора – можливі різні варіанти.

4.1.1. Поточна перевірка – при цьому значенні водій ТЗ виходить з припущення, що жовтий сигнал світлофора залишається ввімкненим 2 с, після чого в кожному часовому кроці вирішує, рухатися йому далі або ні залежно від максимального сповільнення ТЗ, а також актуальної швидкості.

4.1.2. Тверде рішення – при цьому значенні для розрахунку вірогідності того, чи буде водій зупинятися на жовте світло, застосовується логістична функція регресії. Стандартні значення функції базуються на емпіричних даних і можуть бути відредаговані.

4.2. Поведінка при червоно-жовтому сигналі світлофора – водій може приймати рішення "чекати" або "їхати".

4.3. Зменшена дистанція безпеки – параметр визначає поведінку водія ТЗ біля стоп-лінії.

У цьому розділі будуть детально розглянуті чинники, що впливають на формування психофізіологічної моделі і відповідають за підтримку безпечної дистанції, а саме: за поведінку водія ТЗ, що рухається попереду, його реакція на перемикання сигналів світлосигнальних установок, а також поведінка при зміні смуги.

Встановлення параметрів моделі руху, що відповідають за підтримку дистанції безпеки

Розраховані значення дистанції безпеки

Перш ніж перейти до поняття "Дистанція безпеки", необхідно дати визначення, пов'язаних з ним базовим поняттям. Одним з таких понять є "динамічний габарит автомобіля". Під динамічним габаритом L_d (рис. 4.3.8) розглядається ділянка дороги, мінімально необхідна для безпечного руху в транспортному потоці автомобіля завдовжки l_a із заданою швидкістю при дотриманні дистанції безпеки [78]. Дистанція безпеки (d) – це відстань до транспортного засобу, що рухається попереду по тій же смузі.

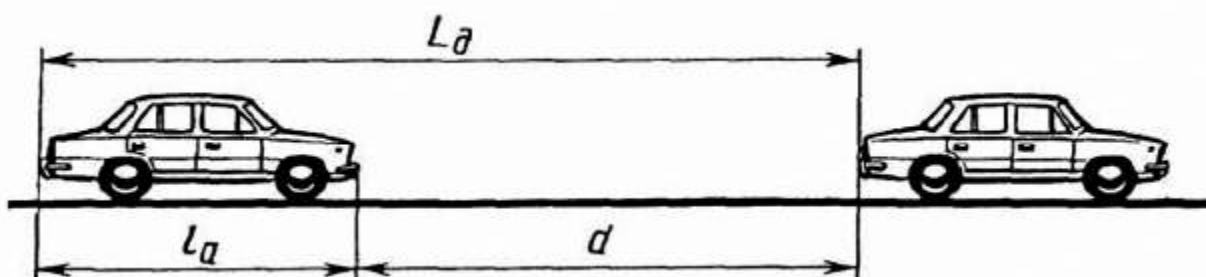


Рисунок 4.3.8 – Динамічний габарит автомобіля в транспортному потоці

Динамічний габарит автомобіля може бути визначений трьома способами, а саме шляхом обчислення мінімальної теоретичної, максимальної теоретичної та реальної дистанції безпеки.

1. При розрахунку дистанції безпеки, виходячи з її мінімального теоретичного значення, приймають абсолютно рівними гальмівні властивості пари автомобілів і враховують тільки час реакції попереднього водія. Тоді:

$$L_d = l_a + v_a t_p + l_0 \quad (4.3.59)$$

де L_d – ділянка дороги, необхідна для безпечного руху в транспортному потоці, м; l_a – довжина автомобіля, м; v_a – швидкість автомобіля на початку сповільнення, м/с; t_p – час реакції веденого автомобіля, с; l_0 – проміжок до того часу, коли зупинився попередній автомобіль, м. Зазвичай приймається рівним 1–3 м. Цей підхід не враховує індивідуальні особливості поведінки водіїв автомобілів-"лідерів". Тут головну роль відіграє тільки збільшення/зменшення часу реакції водія "веденого" автомобіля і швидкості "веденого" автомобіля. Так, чим вище швидкість автомобіля і чим більше часу реакції водія "веденого" автомобіля, тим дистанція безпеки більша.

2. При розрахунку, виходячи з обчислення його максимального теоретичного значення, дистанцію d приймають рівною повному зупиночному

шляху веденого автомобіля. Тобто при порівнянні з розрахунком, виходячи з обчислення мінімальної теоретичної дистанції безпеки, враховується не лише час реакції веденого водія, але і час, який необхідний на повну зупинку ТЗ ($v_a^2/2j_a$). Тоді динамічний габарит визначається за формулою:

$$L_d = l_a + v_a t_p + \frac{v_a^2}{2j_a} + l_0 \quad (4.3.60)$$

де j_a – сповільнення ТЗ, м/с^2 . Пояснення інших величин дані до формули (4.3.59). Такий підхід більше відповідає вимогам забезпечення безпеки руху при високих швидкостях (понад 90 км/год).

3. При розрахунку дистанції безпеки, виходячи з вираховання її реального значення, необхідно враховувати різницю гальмівних шляхів (чи уповільнень) автомобілів, оскільки "лідер" в процесі гальмування також переміщається на відстань, рівну своєму гальмівному шляху. Тоді дистанцію безпеки, м, можна визначити по формулі:

$$d = v_a t_p + \frac{v_a^2}{2} \left(\frac{1}{j_2} - \frac{1}{j_1} \right) \quad (4.3.61)$$

де j_1 – початкове сповільнення ТЗ, м/с^2 ; j_2 – кінцеве сповільнення ТЗ, м/с^2 . Якщо прийняти час реакції водія (включаючи час запізнення спрацювання гідравлічного гальмівного приводу) рівним 1 с, а різниця максимальних уповільнень на сухому асфальтобетонному покритті при екстреному гальмуванні однотипних легкових автомобілів з урахуванням експлуатаційного стану гальмівної системи в допустимих нормативами межах близько $0,08 \text{ м/с}^2$, то динамічний габарит:

$$\left(\frac{1}{j_2} - \frac{1}{j_1} \right) \quad (4.3.62)$$

При цьому різниця максимальних уповільнень була отримана по формулі:

$$L_d = l_a + v_a + 0.04v_a^2 + 1 \quad (4.3.63)$$

де $j_2 = 5,8$ [80]; $j_1 = 11,1$ [81].

Розрахунок дистанції безпеки шляхом обчислення в порівнянні з іншими, найбільш точний, оскільки враховує характеристики не лише веденого автомобіля, але і "лідера". Цим способом були розраховані значення дистанції безпеки для деяких швидкостей (таблиця. 4.3.1).

Таблиця 4.3.1 – Значень дистанції безпеки, розраховані шляхом обчислення її реальної величини

Швидкість, км/год	Розрахована дистанція безпеки, м	Швидкість, км/год	Розрахована дистанція безпеки, м
26	10,30864	39,8	16,94457
32,8	13,4316	40,5	17,3125
35,7	14,85028	44	19,19753
36,7	15,35151	45,6	20,08444
39,2	16,6316	50,8	20,07605
39,3	16,68361	64,8	28,96

Графік залежності розрахованих значень дистанції безпеки від швидкості тих ТЗ, що взаємодіють представлений на рис. 4.3.9.

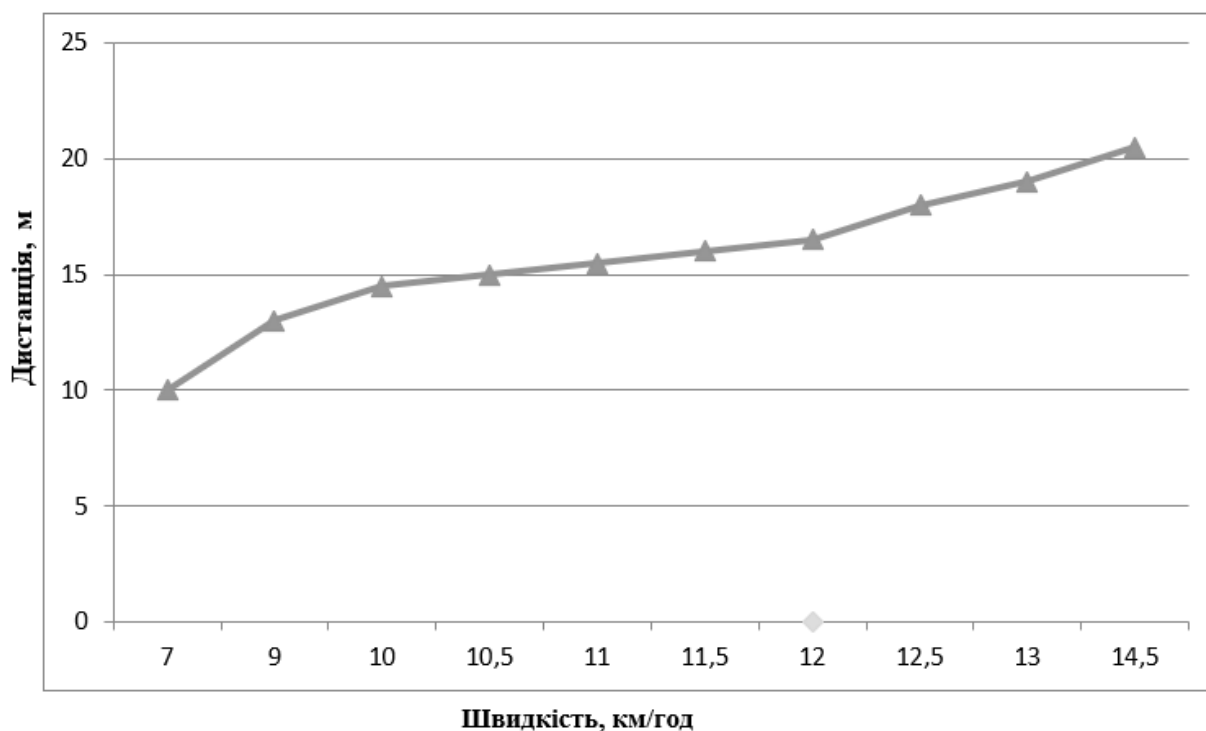


Рисунок 4.3.9 – Залежність розрахованих значень дистанції безпеки від швидкості тих ТЗ, що взаємодіють

Далі приведені методика і отримані значення натурного спостереження.

Досліджені значення дистанції безпеки

Для визначення досліджених значень дистанції безпеки потрібно проведення обстеження. Проте однією з умов обстеження є те, що швидкості і дистанції безпеки повинні підраховуватися тільки для ТЗ, що рухаються без зупинки, тобто без перешкод (світлофорів і так далі). Виявити такі ТЗ в режимі

даного спостереження досить складно. Тому було прийнято рішення проводити обстеження за допомогою не натурального спостереження, а з допомогою перегляду записів камер відеоспостереження на вулично-дорожній мережі міста. Перегляд записів цих камер дозволить, крім того, охопити більший часовий інтервал і більше число перехресть, ніж якби обстеження проводилося з природи.

Одним із типів камер відеоспостереження, записи яких дозволили б проводити подібні обстеження, являються камери, що входять до складу автоматизованої системи управління дорожнім рухом (АСУДР), в Житомирі використовують окремі камери системи відеоспостереження «Безпечне місто», спрямовані на транспортний потік. Інші типи камер, встановлені на ВДМ, не дозволяють провести обстеження транспортних потоків, оскільки фіксують тільки порушення правил дорожнього руху. Камери у складі АСУДР дають можливість коригувати роботу світлофорів в реальному часі за допомогою звичайного відеозапису, а розташовані високо на стовпах камери дозволяють оцінювати дорожню обстановку більш ніж на 50 м дорожнього полотна. Фрагмент відеозапису з камери на в м. Житомирі представлений на рис. 4.3.10.



Рисунок 4.3.10 – Фрагмент відеозапису для обстеження дистанції безпеки

Робота з відеозаписом здійснюється в декілька етапів. Першим кроком в проведенні обстеження є визначення конкретної довжини відрізка (у метрах), на якому можна вимірювати надалі швидкість і дистанцію безпеки ТЗ. Кінець і початок відрізка визначалися по конструктивних елементах: дорожнім знакам, кінцям ліній розмітки, опорам освітлення та ін.

Другий крок у обстеженні – обробка відеозапису з використанням програмного забезпечення. Для визначення швидкості і дистанції автомобіля необхідно знати дві величини: початок і кінець проходження відрізка. Дану процедуру слід провести для декількох ТЗ, що рухаються по одній і тій же смузі (чим більше ТЗ враховано, тим точніше результат). Не варто враховувати

транспорт, що рухається окремо від основного транспортного потоку, тобто з великою дистанцією, щоб отримати середню дистанцію ТЗ, що взаємодіють. Великі дистанції не мають відношення до взаємодії ТЗ. Вони можуть виникати із-за світлофорів чи інших перешкод, близько розташованих до визначеного відрізка, і їх необхідно визначати візуально самостійно.

Для отримання найбільш точних результатів необхідно кілька разів провести заміри швидкості і дистанції для щільних транспортних потоків. Швидкості транспортного потоку і досліджені значення дистанції безпеки за наведеною методикою [79] представлені в табл. 4.3.2. Графік залежності, досліджених значень дистанції безпеки від швидкості взаємодіючих ТЗ, представлений на рис. 4.3.11.

Таблиця 4.3.2 – Досліджені значення швидкості транспортного потоку і дистанції безпеки

Швидкість, км/год	Дистанція безпеки, м	Швидкість, км/год	Дистанція безпеки, м
26	12,3	39,8	16,3
32,8	13,8	40,5	16,7
35,7	16,2	44	19,4
36,7	15,9	45,6	19,4
39,2	16,2	50,8	22
39,3	15,2	64,8	29,2

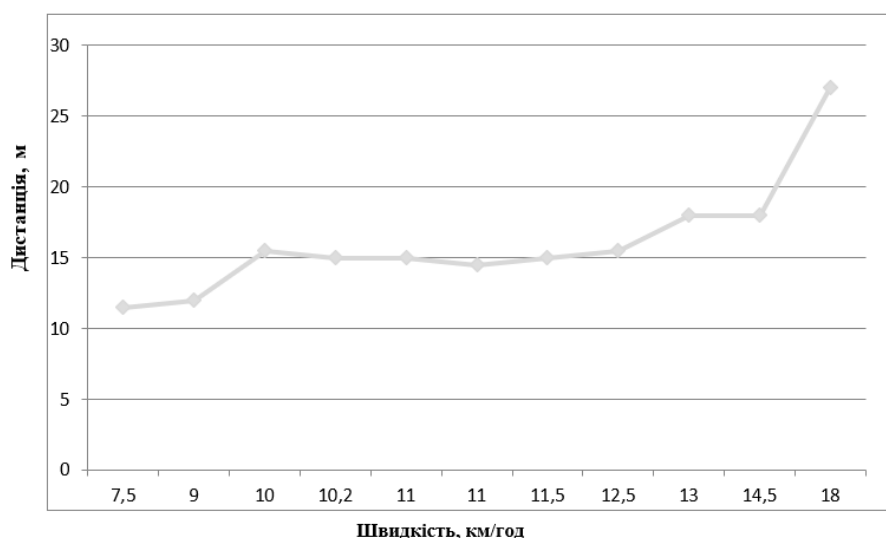


Рисунок 4.3.11 – Залежність значення дистанції безпеки від швидкості взаємодіючих ТЗ

Далі наведені запропоновані за замовчуванням в PTV Vision® VISSIM значення дистанції безпеки.

Стандартні дані параметрів моделі, що впливають на значення дистанції безпеки в PTV Vision® VISSIM

У програмному комплексі PTV Vision® VISSIM дистанцію безпеки можна актуалізувати за допомогою зміни значень параметрів моделей Відемана - моделей проходження за ТЗ, що їхав попереду.

При русі в транспортному потоці водій знаходиться в стані «слідування за ТЗ, що їхав попереду», тобто або наближається до нього, або віддаляється від нього. Ця гіпотеза є основною ідеєю моделі Відемана. Так, коли дистанція до переднього ТЗ скорочується, водій ТЗ, що їде позаду, починає знижувати швидкість до того моменту, поки дистанція не починає здаватися йому надто великою. Так як водій не може точно оцінити швидкість автомобіля, що рухається попереду ТЗ, то він постійно знаходиться в стані легкого прискорення або сповільнення. Слід зазначити, що поведінка ТЗ, що їде попереду, в першу чергу залежить від місця розташування дороги: або в межах міста, або поза населених пунктів (автомагістралі). Для цього в PTV Vision® VISSIM передбачені дві моделі поведінки за транспортом, які вибираються за допомогою відповідного рядка з пункту меню «Базові дані» - «Манера їзди» - вкладка «Поведінка за тим, що їхав попереду»(рис. 4.3.12).

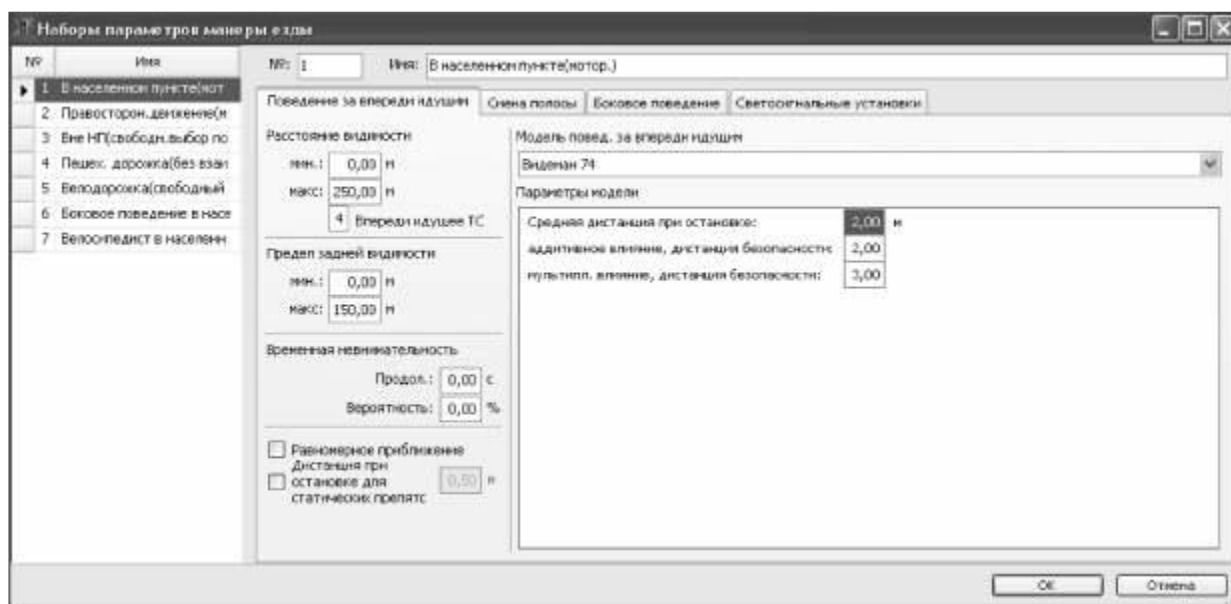


Рисунок 4.3.12 – Вікно редагування «Стилі манери їзди» в PTV Vision® VISSIM

Рядок вибору моделі Відемана містить два різновиди моделі: модель внутрішньоміського руху (Відемана 74) і модель руху по автомагістралі (Відемана 99). Є модифікацією моделі Відемана 1974 р. [82]. Параметри моделі Відемана 74. Цю модель рекомендується використовувати при моделюванні руху транспортних потоків в межах міста. У цьому випадку взаємодія між

автомобілями будується на основі визначальних співвідношень в залежності від параметрів, представлених в табл. 4.3.3.

Таблиця 4.3.3 – Параметри моделі Відемана 74

Параметр	Визначення	Опис
ax	Середня дистанція при зупинці	Визначає середню бажану дистанцію між двома ТЗ при зупинці
bx_{add}	Адитивний вплив дистанції безпеки	Використовується для розрахунку бажаної дистанції безпеки
bx_{mult}	Мультиплікативний вплив дистанції безпеки	Використовується для розрахунку бажаної дистанції безпеки. Даний параметр дорівнює $bx_{add}+1$

Дистанція безпеки (поведінка за ТЗ, що їхав попереду) розраховується за формулою:

$$d = a_x + b_x \quad (4.3.64)$$

де ax – дистанція при зупинці, м; bx – динамічні доданки, м:

$$b_x = (bx_{add} + bx_{mult}z)\sqrt{v} \quad (4.3.65)$$

де v – швидкість ТЗ, м/с; z – коефіцієнт (випадкове число), значення якого варіюються в межах $[0,1]$; bx_{add} – дистанція безпеки (адитивний вплив), м, яка залежить від двох взаємодіючих ТЗ; bx_{mult} – дистанція безпеки (мультиплікативний вплив), м, яка залежить від кожного з взаємодіючих ТЗ. У зв'язку з цим можна сказати, що від значень даних параметрів залежить і значення дистанції безпеки. Стандартні значення параметрів моделі Відемана представлені в табл. 4.3.4.

Таблиця 4.3.4 – Стандартні значення параметрів моделі Відемана 74

Параметр	ax	bx_{add}	bx_{mult}
Стандартне значення параметра	2	2	3

Значення дистанції безпеки, які виходять в результаті підстановки в формулу (3.5) стандартних значень параметрів, представлені в табл. 4.3.5.

Таблиця 4.3.5 – Значення дистанції безпеки при стандартних значеннях параметрів моделі Відемана 74

Швидкість, км/год	10	20	30	40	50	60
d, м	7,75	10,2	12,1	13,66	15,04	14,28

За значеннями дистанції безпеки, наведеними в табл. 4.3.5, був побудований графік залежності дистанції від швидкості ТЗ (рис. 4.3.13).

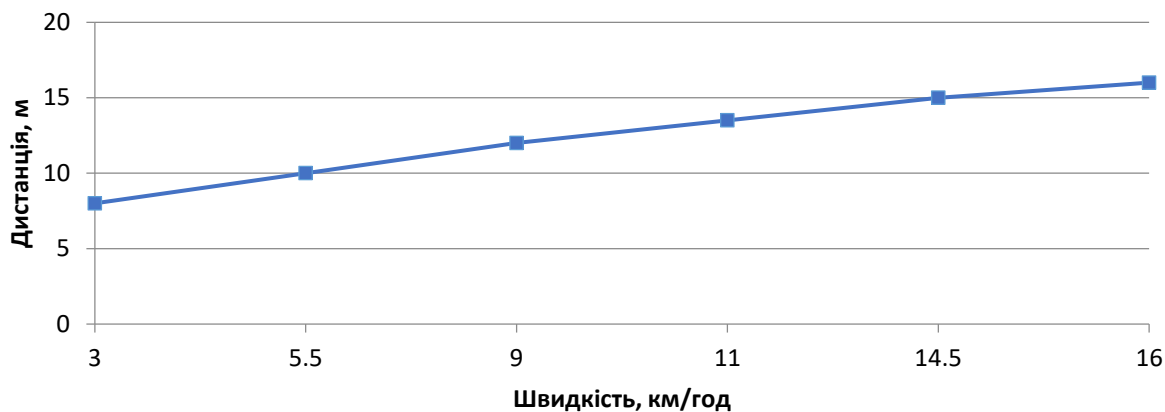


Рисунок 4.3.13 – Залежність значень дистанції безпеки в моделі Відемана 74 від швидкості взаємодіючих ТЗ

Параметри моделі Відемана 99. Рух на дорогах поза населеними пунктами відрізняється від руху в межах міста. Для імітації руху ТЗ по дорогах поза населеними пунктами (автомагістралях) в PTV Vision® VISSIM використовується модель Відемана 99. Так як на автомагістралях ТЗ зазвичай рухаються з швидкістю від 60 до 120 км/год, параметри моделі Відемана 99 будуть розглянуті тільки для цих швидкостей. У моделі Відемана 99 дистанція безпеки визначається, як мінімальна відстань, на якому водій ТЗ, що йде попереду. У разі великого завантаження зони моделювання транспортними засобами значення дистанції безпеки значно впливає на показники ефективності роботи розглянутої ділянки ВДМ. Так, при збільшенні дистанції безпеки між автомобілями швидкість введення в зону моделювання ТЗ зменшується. Це пов'язано з тим, що ТЗ перед введенням в зону моделювання «чекає», поки зросте безпечна дистанція до автомобіля, що рухається попереду.

Параметри моделі Відемана 99 наведені в табл. 4.3.6.

Таблиця 4.3.6 – Параметри моделі Відемана 99

Параметр	Визначення	Опис
<i>CC0</i>	Дистанція при зупинці	Середня бажана дистанція при зупинці між двома ТЗ. Ця дистанція не змінюється. Ідентичний параметр <i>ax</i> в моделі Відемана 74
<i>CC1</i>	Дистанція від переднього ТЗ	Описує відстань, яку водій хотів би дотримуватися при визначеній швидкості. Чим вище це значення, тим безпечніший водій
<i>CC2</i>	Поздовжнє коливання	Параметр обмежує поздовжнє коливання або різницю відстані, яку водій допускає по відношенню до переднього ТЗ, перш ніж піде на зближення. Якщо значення рівне, наприклад, 10 м, для поведінки за переднім ТЗ, дистанція безпеки розраховується як $dx_{safe}+10$
<i>CC3</i>	Поріг сприйняття для слідування	Параметр визначає початок процесу сповільнення, тобто коли водій починає реагувати на сповільнення переднього ТЗ. Іншими словами, <i>CC3</i> описує, за скільки секунд водій починає сповільнення
<i>CC4</i>	Негативна різниця швидкості	Контролює різницю в швидкості і під час процесу слідування
<i>CC5</i>	Позитивна різниця швидкості	Контролює різницю в швидкості і під час процесу слідування
<i>CC6</i>	Вплив швидкості на коливання	Параметр описує вплив дистанції на коливання швидкості в процесі слідування. Якщо значення дорівнює 0, то коливання швидкості відбувається незалежно від дистанції з попереднім ТЗ, в той час як більш високі значення цього параметру приводять до великих коливань швидкості зі збільшенням дистанції
<i>CC7</i>	Прискорення при коливанні	-
<i>CC8</i>	Прискорення з місця	Вказується бажане прискорення при русанні ТЗ з місця (обмежено максимальним прискоренням, визначеним кривими розподілу)
<i>CC9</i>	Прискорення при швидкості 80 км/год	Бажане прискорення при швидкості 80 км/год (обмеження як при <i>CC8</i>)

При заданій швидкості v , м/с, середня дистанція безпечності визначається наступним чином:

$$dx_{safe} = CC0 + CC1 \times v + CC2 \quad (4.3.66)$$

де $CC0$ – дистанція при зупинці – середня бажана дистанція при зупинці між двома ТЗ, м. Ця дистанція не змінюється, ідентично параметру ax в моделі Відемана 74; $CC1$ – дистанція по відношенню до ТЗ, що рухається попереду, м, описана відстань, яку водій хотів би дотримуватися при певній швидкості. Чим вище це значення, тим обережніший водій; $CC2$ – поздовжнє коливання, м, обмежує різницю відстані, яку водій допускає по відношенню до попереднього ТЗ, перш ніж усвідомлено піде на зближення; v – швидкість ТЗ, м/с.

Таким чином, можна сказати, що від значень параметрів $CC0$, $CC1$, $CC2$ і v залежить і значення дистанції безпеки. Значення параметрів моделі Відемана 99, встановлені в PTV Vision® VISSIM за замовчуванням (стандартні значення), наведені в табл. 4.3.7.

Таблиця 4.3.7 Стандартні значення параметрів моделі Відемана 99

Параметр	Стандартне значення параметра	Параметр	Стандартне значення параметра
$CC0$	1,5 м	$CC5$	0,35 км/год
$CC1$	0,9 с	$CC6$	11,44%
$CC2$	4 м	$CC7$	0,25 м/с ²
$CC3$	-8 с	$CC8$	3,5 м/с ²
$CC4$	-0,35 км/год	$CC9$	1,5 м/с ²

Стандартні значення дистанції безпеки для моделі Відемана 99 наведені в табл. 4.3.8.

Таблиця 4.3.8 – Значення дистанції безпеки при стандартних значеннях моделі Відемана 99

Швидкість, км/год	70	80	90	100	110	120
Дистанція безпеки, м	23	25,5	28	30,5	33	35,5

За значеннями дистанції безпеки був побудований графік залежності дистанції безпеки від швидкості взаємодіючих ТЗ (рис. 4.3.14).

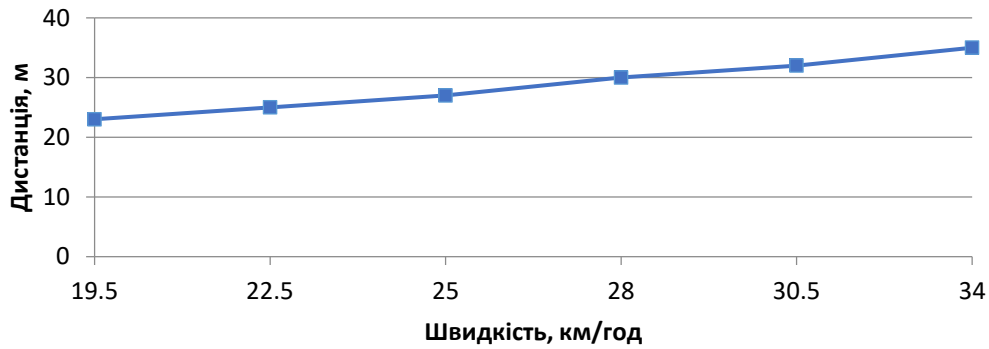


Рисунок 4.3.14 – Залежність значень дистанції безпеки в PTV Vision® VISSIM від швидкості взаємодіючих ТЗ

Порівняльний аналіз різних підходів при моделюванні параметрів дистанції безпеки.

Для того щоб визначити актуальність значень дистанції безпеки, було проведено порівняння спостережуваних і розрахованих значень дистанції безпеки, а також заданих за замовчуванням в PTV Vision® VISSIM. Графік відповідності розрахованих і спостережуваних значень дистанції безпеки представлений на рис. 4.3.15 для швидкостей нижче 60 км/год. Обраний діапазон швидкостей пов'язаний з тим, що значення дистанції безпеки, отримані при натурному обстеженні, отримані для ТЗ, що рухаються в межах міста, а значить, що не перевищують швидкість 60 км/год. З рисунка видно, що значення спостережуваної і розрахованої дистанції безпеки приблизно рівні. Так, в середньому різниця між значеннями становить 0,2 м, або менш ніж 1,1 %. Звідси можна зробити висновок про те, що розраховані значення дистанції безпеки актуальні для ситуації, яка спостерігається.

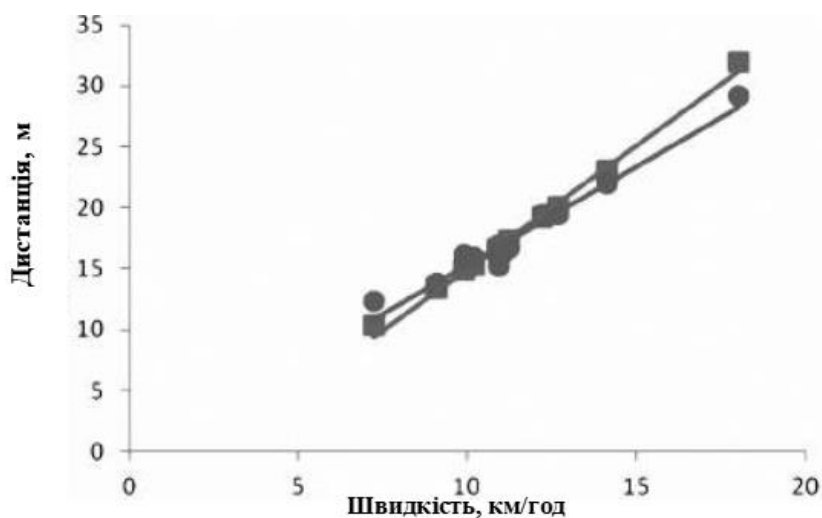


Рисунок 4.3.15 – Відповідність спостережуваних і розрахованих значень дистанції безпеки

Слід зазначити, що в PTV Vision® VISSIM є можливість моделювання руху ТЗ як в населених пунктах, так і поза ними. У зв'язку з цим значення дистанції в PTV Vision® VISSIM можна розрахувати для різних швидкостей, як дуже високих, так і дуже низьких. Значення дистанції для різних швидкостей можна також отримати за допомогою розрахунків, наведених в розд. 3.1.1. Однак значення дистанції для високих швидкостей руху отримано не було, так як обстеження проводилось в межах міста, де максимальна швидкість обмежена. За цієї причини порівняння стандартних значень дистанції безпеки, прийнятих в PTV Vision® VISSIM, проводилося тільки з розрахованими значеннями дистанції безпеки.

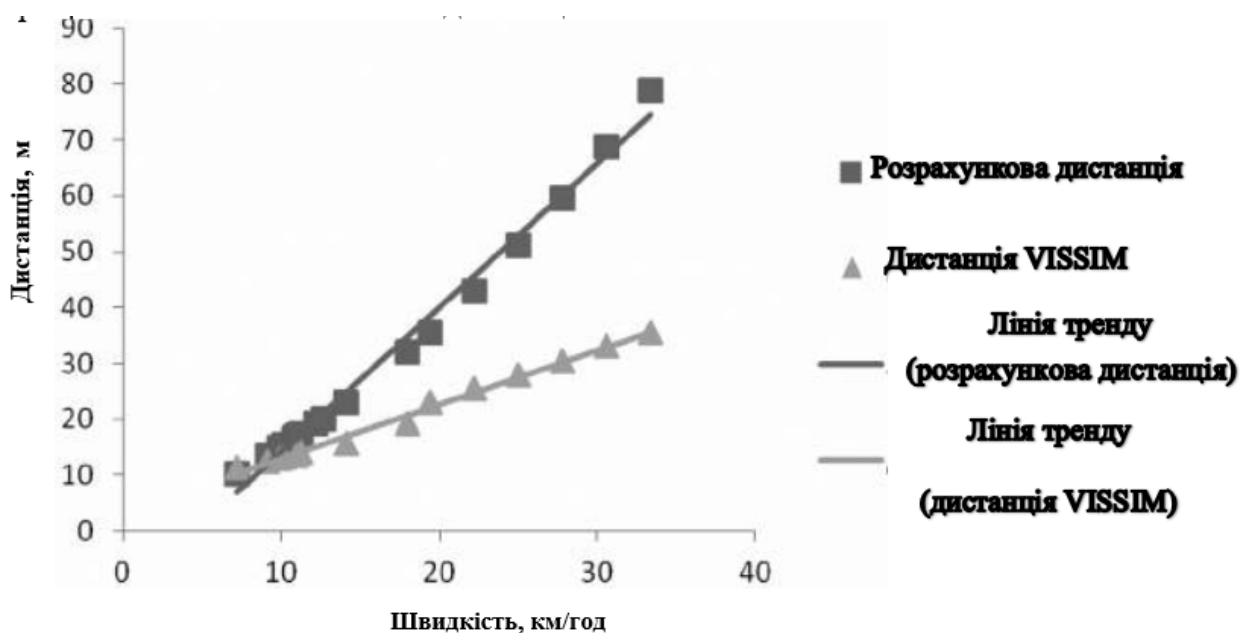


Рисунок 4.3.16 – Відповідність розрахованих значень дистанції безпеки і значень дистанції безпеки, прийнятих в PTV Vision® VISSIM

При цьому для швидкостей до 60 км/год в графіку використовувалися значення моделі Відемана 74, оскільки ця модель призначена для руху ТЗ в населених пунктах, а для швидкостей вище 60 км/год – значення дистанції безпеки моделі Відемана 99, так як ця модель призначена для моделювання руху ТЗ поза населеними пунктами, коли транспорт рухається з більш високими швидкостями. З рисунка видно, що різниця між розрахованими і стандартними значеннями дистанції безпеки PTV Vision® VISSIM значна. Так, в середньому різниця між значеннями становить близько 3,8 м, тобто більше 20 %. Зі сказаного вище можна зробити висновок, що при моделюванні дистанції безпеки в транспортному потоці в місті необхідно змінити значення моделей Відемана в відповідності або з тими, що спостерігаються, або з розрахованими значеннями дистанції безпеки.

Досліджені значення дистанції безпеки були отримані не для всіх швидкостей, проте розраховані значення близькі до них. Тому значення дистанції безпеки моделей Відемана будуть змінені відповідно з розрахованими значеннями.

Рекомендовані значення параметрів моделі, що впливають на значення дистанції безпеки

За результатами порівняння значень дистанції безпеки було виявлено, що дистанція безпеки моделей Відемана відрізняється від досліджених і розрахованих значень дистанції безпеки приблизно на 20%. У зв'язку з цим необхідно зменшити різницю між розрахованими значеннями дистанції безпеки і значеннями дистанції безпеки моделей Відемана. Для цього необхідно підібрати значення моделей Відемана таким чином, щоб дистанція збільшувалася в міру того, як збільшується швидкість ТЗ.

Модель Відемана 74. Рекомендовані значення параметрів моделі динаміки транспортних потоків (bx_{mult} і bx_{add}) були тримані за допомогою розрахунків за формулами (4.3.64) і (4.3.65). При об'єднанні цих формул виходить підсумкове співвідношення для розрахунку дистанції безпеки:

$$d = ax + [(bx_{add} + bx_{mult})z\sqrt{v}] \quad (4.3.67)$$

З даного співвідношення можливо визначити суму. Тоді:

$$bx_{add} + bx_{mult} = \left(\frac{d}{\sqrt{v}}\right) / 0.5 \quad (4.3.68)$$

Для знаходження значень параметрів виконувалась залежність, виявлена при докладному дослідженні стандартних значень параметрів, наведених в табл. 4.3.4. Так, відповідно до цієї таблиці впливає, що:

$$bx_{mult} = 1.5 \times bx_{add} \quad (4.3.69)$$

Дана залежність була застосована як умова до розрахунків певних рекомендованих значень параметрів, а з формули (4.3.10) були отримані співвідношення для визначення кожного параметра:

$$bx_{add} = \left(\frac{d}{\sqrt{v}}\right) \times 0.8 \quad (4.3.70)$$

$$bx_{mult} = \left(\frac{d}{\sqrt{v}} \right) \times 1.2 \quad (4.3.71)$$

Значення параметрів, знайдені за формулами (4.3.70) і (4.3.71), представлені в табл. 4.3.9.

Таблиця 4.3.9 – Рекомендовані значення параметрів моделі Відемана 74 відповідно до розрахованої дистанції

Швидкість, км/год	ax , м	bx_{add} , м	bx_{mult} , м	Дистанція при вказаних значеннях, м
60	2	1,00	1,50	28,78
50	2	1,97	2,95	22,6
40	2	2,80	4,20	17,05
30	2	3,61	5,42	12,11
20	2	4,42	6,63	7,79
10	2	5,25	7,87	4,09

Значення, представлені в табл. 4.3.8, можна використовувати при моделюванні динаміки транспортних потоків.

Модель Відемана 99. Рекомендовані значення параметрів моделі були визначені за представленими в розд. 3.1.3 формулами, в які були підставлені значення розрахованої дистанції безпеки, наведені в табл. 4.3.8. Так як дана модель використовується тільки для моделювання руху транспорту в населених пунктах, також були розраховані параметри моделі Відемана 99. Відзначимо, що в моделі Відемана 99 параметр $CC0$ не повинен змінюватися, так як він відповідає за дистанцію при зупинці. У зв'язку з цим для отримання актуального значення дистанції буде змінено тільки параметр $CC1$ (табл. 4.3.10).

Таблиця 4.3.10 – Рекомендовані значення параметрів моделі Відемана 99

Швидкість, км/год	$CC1$, м	Дистанція, м
70	14,07	35,57

Інші параметри також залишаються незмінними.

Встановлення актуальних параметрів дистанції безпеки в програмному комплексі PTV Vision® VISSIM

Для того щоб значення дистанції безпеки при моделюванні динаміки транспортного потоку були найбільш наближені до розрахованих і досліджуваних значеннях, необхідно змінити параметри моделей Відемана. В даному розділі буде розглянуто спосіб зміни за допомогою графічного інтерфейсу PTV Vision® VISSIM.

Модель Відемана 74. За результатами розрахунку рекомендованих параметрів дистанції безпеки, представленого в розд.3.1.4, були змінені значення параметрів дистанції безпечності моделі Відемана 74. Зміна параметрів здійснюється за допомогою пункту меню «Базові дані - Манера їзди». При цьому у вкладці «Поведінка ТЗ, що їхав попереду» необхідно вибрати модель Відемана 74 (рис. 4.3.17).

Для того, щоб задати для будь-якого відрізка особливу манеру їзди, необхідно для початку створити новий набір параметрів меню «Базові дані - Манера їзди», потім в меню «Базові дані - Типи манери їзди відрізків» створити новий тип (рис. 4.3.18), в якому вибрати новостворену манеру їзди, а також необхідний тип (рис. 4.3.19).

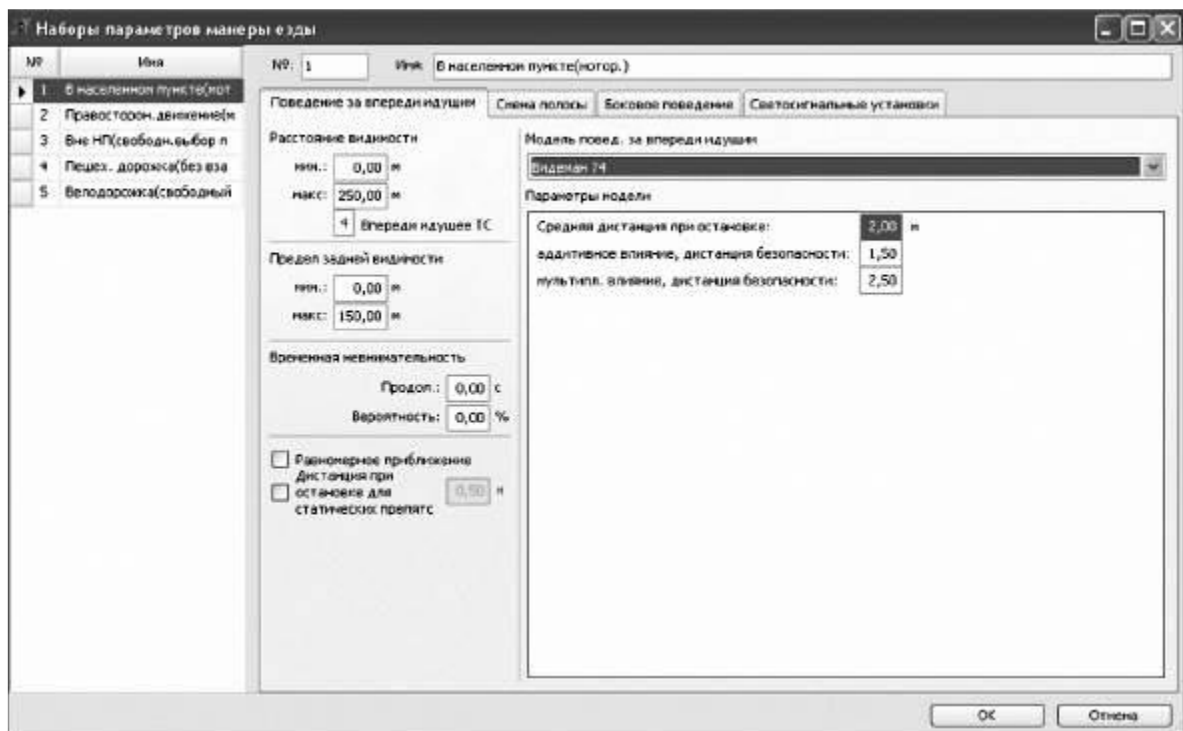


Рисунок 4.3.17 – Редагування значень параметрів моделі Відемана 74 в вікні редагування «Набори параметрів манери їзди» в PTV Vision® VISSIM

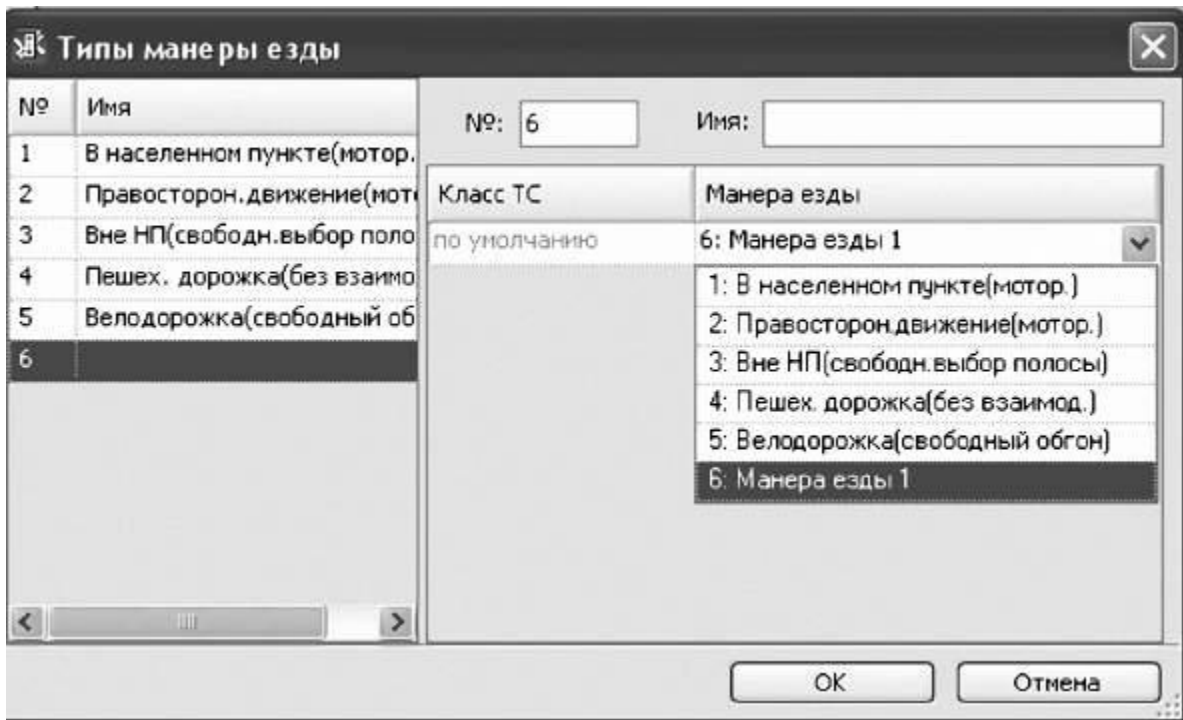


Рисунок 4.3.18 – Присвоення манери їзди відрізку в вікні редагування «Типи манери їзди» в PTV Vision® VISSIM

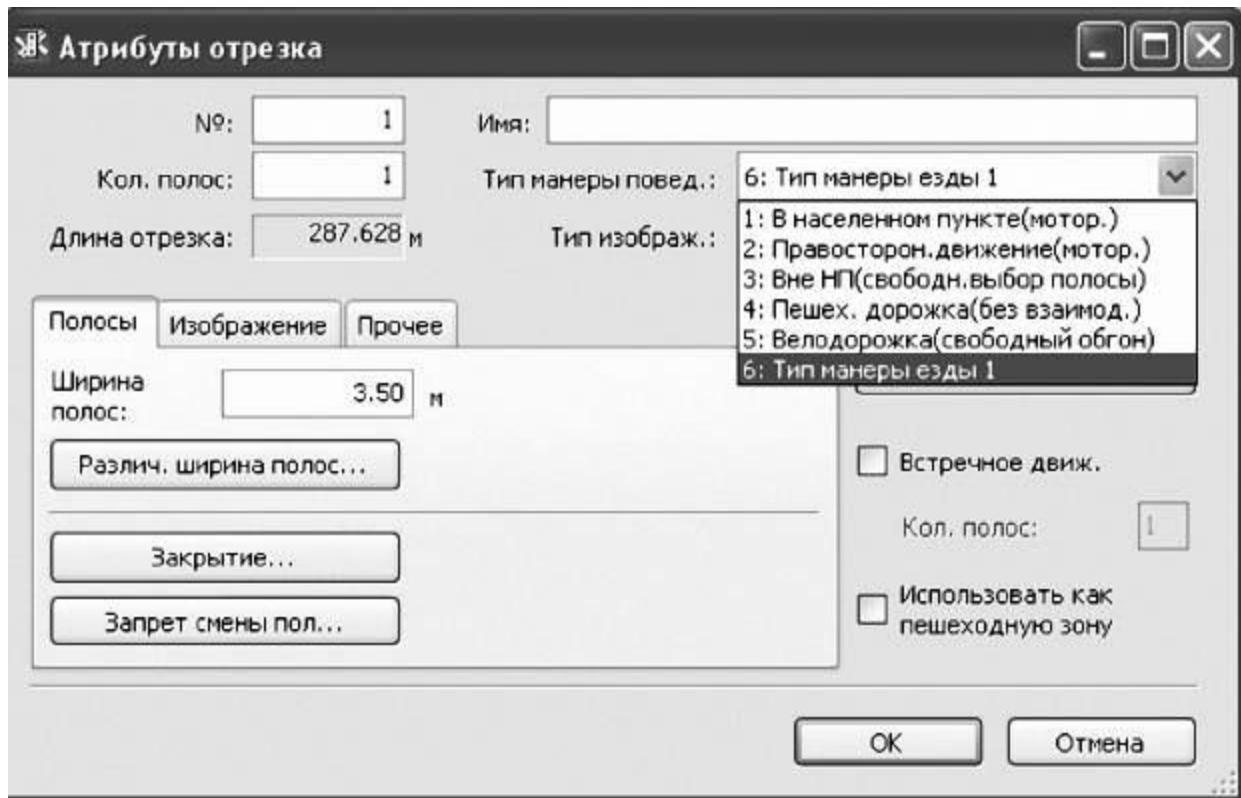


Рисунок 4.3.19 – Присвоення відрізку типу манери поведінки в вікні редагування «Атрибути відрізка» в PTV Vision® VISSIM

Модель Відемана 99. Зміна параметрів моделі Відемана 99 для швидкостей 60– 80 км/год показано на рис. 4.3.20.

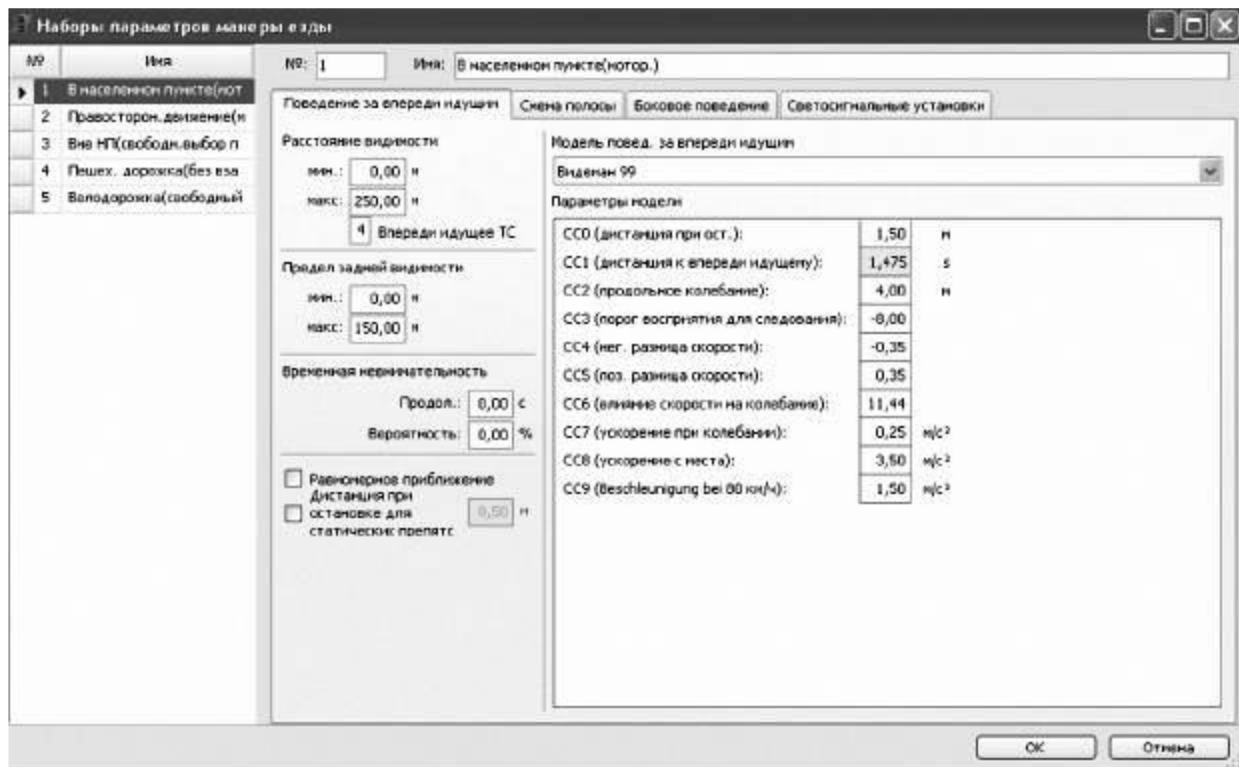


Рисунок 4.3.20 – Редагування значень параметрів моделі Відемана 99 в вікні редагування «Набори параметрів манери їзди» в PTV Vision® VISSIM

З рис. 4.3.20 видно, що для швидкості 60 км/год змінений тільки параметр CC1. Для ділянок ВДМ, де швидкість перевищує 60 км/год, потрібно змінювати значення параметра *CC1* в відповідно до табл. 4.3.10. При заміні стандартних параметрів моделі Відемана на рекомендованій дистанції безпеки в моделі руху транспортного потоку приймають значення, найбільш наближені до досліджуваних.

Актуалізація параметрів моделі руху, що відповідають за поведінку водія на регульованих перехрестях

Загальні відомості

Одним з найважливіших психофізіологічних факторів поведінки водіїв є його реакція на перемикання сигналів світлосигнальних установок. Даний фактор впливає на середню швидкість транспортних потоків, що рухаються через модельоване перехрестя, пропускну здатність перехрестя і інші показники ефективності функціонування перехрестя. Перемикання сигналів світлосигнальних установок з сигналу, що дозволяє рух транспортних засобів на заборонний сигнал і назад, може бути різним: з використанням жовтого і червоно-жовтого сигналів світлофора. Реакція водія на дані сигнали також різна. Так, при включенні жовтого сигналу світлофора, водій або знижує швидкість,

для того щоб зупинитися, або продовжує рух з метою, як можна швидше проїхати перехрестя. При перемиканні забороненого сигналу на дозвільний, нерідко використовується також червоно-жовтий сигнал світлофора. При включенні такого сигналу рух транспортних засобів заборонено правилами дорожнього руху, тому водії не можуть продовжувати рух по перехрестю. До факторів, що характеризують реакцію водія на перемикання світлосигнальних установок, в PTV Vision® VISSIM, відносяться:

1. Реакція на жовтий сигнал світлофора. При наближенні до стоп-лінії у водія ТЗ існують два варіанти наступних дій – або виїзд за стоп-лінію, або зупинка перед стоп-лінією.

2. Поведінка при червоно-жовтому сигналі світлофора. Поведінка водія при включенні зазначеного сигналу залежить від дорожніх законів в різних державах. В Україні, відповідно до п. 8.7.3 Правил дорожнього руху, «поєднання червоного і жовтого сигналів забороняє рух і інформує про наступне вмикання зеленого сигналу». Також заборонено рух на червоно-жовтий сигнал в таких країнах, як Китай, Естонія, Великобританія. Однак, в деяких штатах США червоно-жовтий сигнал є лише попередженням водіїв про швидке переключення сигналу світлофора на червоний – забороняючий сигнал (Північна Дакота).

3. Зменшена дистанція безпеки поблизу від стоп-лінії. Даний фактор відповідає за зміну манери їзди водія поблизу від стоп-лінії.

Реакція водія на жовтий сигнал світлофора

Виїзд ТЗ за стоп-лінію. Реакція на жовтий сигнал світлофора в PTV Vision® VISSIM визначається моделлю рішення, яка має на увазі ту чи іншу дію водія при наближенні до стоп-лінії світлофора. Існує два різновиди моделей рішення.

1. Модель «Поточна перевірка». При даній моделі водій ТЗ в кожному часовому кроці передбачає, що жовтий сигнал світлофора залишається включеним протягом 2 с і виходячи з цього вирішує, рухатися йому далі чи ні. Рішення водія про продовження руху залежить від його максимального сповільнення, а також актуальної швидкості. Водій не зупиниться перед стоп-лінією, якщо максимальне сповільнення його ТЗ не дозволить йому зупинитися перед світлофором в місцях, згідно п. 8.10 ПДР. Водій ТЗ зупиниться перед стоп-лінією, якщо актуальна швидкість його ТЗ не дозволить йому виїхати за стоп-лінію світлофора за 2 с. У тих випадках, коли максимальне сповільнення ТЗ дозволяє водієві зупинитися перед стоп-лінією, а швидкість дає можливість виїхати за стоп-лінію протягом 2 с, водій ТЗ за допомогою вибору випадкової змінної вирішує, буде чи він зупинитися перед стоп-лінією. Завдання і вибір випадкової змінної здійснюються в PTV Vision® VISSIM без участі користувача,

тобто він не здійснює редагування тих або інших параметрів, які можуть вплинути на прийняття ним рішення про зупинку його ТЗ перед стоп-лінією при заданих умовах. Прийняття рішення не змінюється до тих пір, поки ТЗ не виїде за стоп-лінію.

2. Модель «Тверде рішення». Для розрахунку ймовірності того, буде водій зупинятися перед стоп-лінією або проїде перехрестя на жовтий сигнал, застосовується функція регресії:

$$p = \frac{1}{1 + e^{-\alpha - \beta_1 v - \beta_2 dx}} \quad (4.3.72)$$

де p – ймовірність зупинки перед стоп-лінією або проїзду перехрестя на жовтий сигнал; v – швидкість ТЗ, м/с; dx – відстань до стоп-лінії, м; α , β_1 , β_2 – вільно обрані параметри.

При виборі моделі «Поточна перевірка» реакція водія на світлофор в деяких ситуаціях встановлюється випадково обраним числом. До таких моментів відносяться ситуації, коли швидкість ТЗ дозволяє проїхати перехрестя, а максимальне сповільнення - зупинитися. Іншими словами, в тих випадках, коли і проїзд перехрестя, і зупинка перед стоп-лінією є однаково можливі. Установка реакції водія за допомогою випадкового числа не є точною, оскільки при одних і тих же обставинах водій ТЗ може прийняти різні рішення про проїзд стоп-лінії. Найбільш адекватними є результати моделювання поведінки водія з обраною моделлю «Тверде рішення». Справа в тому, що світлофорний об'єкт внутрішньо змодельований, як ТЗ зі своєю манерою їзди. Модель дозволяє більш точно встановити реакцію водіїв на цю манеру їзди, так як у користувача є можливість скорегувати рішення водія і уточнити його в залежності від обставин. Розглянемо параметри моделі «Тверде рішення» докладніше. Стандартні значення параметрів, що відповідають за вірогідність виїзду ТЗ за стоп-лінію на жовтий сигнал світлофора. Модель «Тверде рішення» в PTV Vision® VISSIM використовується для розрахунку ймовірності того, чи буде водій зупинятися близько стоп-лінії при жовтому сигналі світлофора. Нагадаємо, що для розрахунку ймовірності p (чи водій зупинятися на жовте світло) застосовується функція регресії (3.14). Стандартні значення параметрів $\alpha = 1,59$, $\beta_1 = -0,26$, $\beta_2 = 0,27$ базуються на емпіричних даних.

Функція для стандартних параметрів, що відповідають в PTV Vision® VISSIM за процес моделювання рішення водія про проїзд стоп-лінії на жовтий сигнал при швидкості v від 0 до 60 км/год дистанції dx від 0 до 100 м, представлена на рис. 4.3.17. Функція, представлена на рис. 4.3.17, приймає значення в діапазоні від 0 до 1. Якщо функція приймає значення 0 або близьке до нього, в процесі моделювання водій проїде стоп-лінію на жовтий сигнал

(виїде на перехрестя), при значенні 1 або близькому до нього - зупиниться перед стоп-лінією. З рисунка видно, що рішення про зупинку залежить від довжини дистанції (чим більше дистанція, тим більша ймовірність зупинки) і швидкості (чим менше швидкість, тим більша ймовірність зупинки). В табл. 1 додатку 2 наведені значення ймовірності при різних значеннях швидкості і дистанції, за якими був побудований графік зміни рішення водія ТЗ про проїзд стоп-лінії на жовтий сигнал (рис. 4.3.21). Значення були розраховані шляхом підстановки різних значень дистанції і швидкості в формулу (4.3.72).

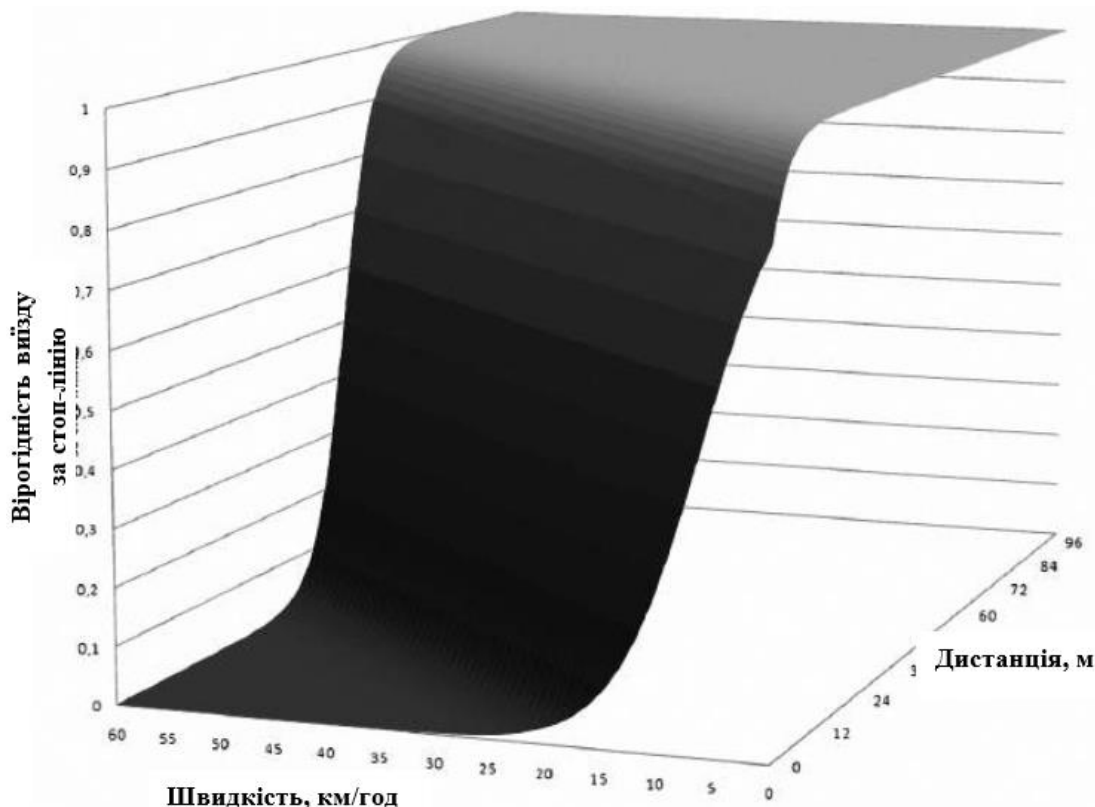


Рисунок 4.3.21 – Зміна рішення водія ТЗ про проїзд стоп-лінії на жовтий сигнал, запропоноване в PTV Vision® VISSIM

Для визначення актуальності значень ймовірності виїзду за стоп-лінію при жовтому сигналі світлофора авторами було проведено додаткове натурне дослідження.

Досліджувані значення параметрів, що відповідають за вірогідність виїзду ТЗ за стоп-лінію на жовтий сигнал світлофора. Щоб знати, як змінюється рішення водія ТЗ про зупинку перед стоп-лінією в залежності від швидкості і дистанції, було проведено дослідження поведінки водіїв ТЗ на вулично-дорожній мережі при проїзді регульованих перехресть. При дослідженні необхідно було визначити в першу чергу швидкість ТЗ при під'їзді до регульованого перехрестя, а також зафіксувати, на якій відстані від стоп-лінії перебуває ТЗ в момент перемикавання світлофора на жовтий сигнал. Отримати такі дані досить складно,

оскільки спостерігач не може одночасно оцінювати відстань, яку пройде автомобіль за час, необхідний для проходження цієї ділянки, і момент перемикання сигналу світлофора. Для отримання такої інформації, дослідження поведінки одного і того ж водія ТЗ проводилося в кілька етапів. Для цього потрібні були відеозапис руху даного автомобіля і повторний перегляд запису. Було прийнято рішення проводити дослідження за допомогою перегляду записів камер відеоспостереження на вулично-дорожній мережі міста. Аналогічно дослідженням, проведеним з метою виявлення середньої дистанції, обстеження здійснювалося з використанням записів камер відеоспостереження, які входять до складу автоматизованих систем управління дорожнім рухом. Фрагмент відеозапису такої камери в м. Житомирі представлений на рис. 4.3.22. Відзначимо, що в реальному житті водій може або прийняти рішення про зупинку ТЗ перед стоп-лінією, або проїхати через перехрестя без зупинки. Для подальших міркувань необхідно ввести логічну змінну, що приймає значення 0, якщо водій прийняв рішення проїхати даний перехрестя, і 1, якщо водій прийняв рішення про зупинку перед стоп-лінією.

Для того, щоб дослідити ймовірність виїзду ТЗ за стоп-лінію при жовтому сигналі світлофора, на першому етапі дослідження відеозапису було зафіксовано відстань до стоп-лінії, на якому знаходиться ТЗ в момент перемикання світлофора на жовтий сигнал. З цією метою для кожного дослідного ТЗ приблизно оцінювалася дистанція до стоп-лінії. При оцінці відстані використовувалися конструктивні елементи (опори освітлення та ін.). Відомо, що відстань між опорами освітлення рівна 30 м, за допомогою таких своєрідних орієнтирів можна досить точно обчислити відстань до чого-небудь в будь-який момент часу на будь-якій ділянці ВДМ.



Рисунок 4.3.22 – Фрагмент відеозапису для обстеження ймовірності виїзду ТЗ за стоп-лінію при жовтому сигналі світлофора

На другому етапі для кожного ТЗ за допомогою спеціального програмного забезпечення замірялась його швидкість.

Після проведених замірів по записах відеоспостереження було виявлено, чи виїжджає ТЗ на перехрестя або зупиняється перед стоп-лінією. Рішення було переведено в цифровому форматі, тобто виїзду за стоп-лінію було присвоєно значення 0 , а зупинці перед стоп-лінією – 1 . В рамках дослідження поведінки водіїв було переглянуто записи відеоспостереження, які знято протягом дня. Це дозволило вивчити поведінку водіїв транспортних засобів в різних ситуаціях. Для кожної ситуації швидкість ТЗ і дистанція до стоп-лінії були різними, що дало можливість однозначно визначити поведінку водія при будь-яких обставинах. За даними таблиці був побудований графік досліджуваних варіантів зміни рішення водіями ТЗ про проїзд стоп-лінії на жовтий сигнал. Порівняльний аналіз різних підходів при моделюванні ймовірності виїзду ТЗ за стоп-лінію при жовтому сигналі світлофора. Для того, щоб визначити актуальність значень ймовірності виїзду ТЗ за стоп-лінію при жовтому сигналі світлофора, було проведено порівняння значень ймовірності, досліджуваних і заданих за замовчуванням в моделі PTV Vision® VISSIM. Однак при дослідженні було прийнято, що виявлена ймовірність виїзду ТЗ за стоп-лінію при жовтому сигналі світлофора може приймати значення тільки 0 або 1 . У той же час ймовірність, запропонована в якості стандартної в моделі PTV Vision® VISSIM, може приймати проміжні значення між 0 і 1 .

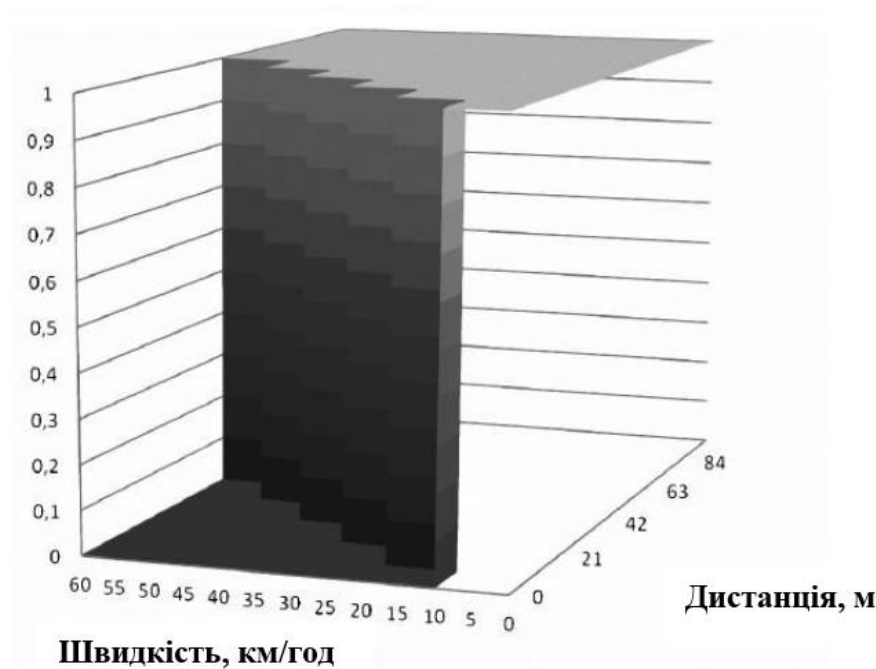


Рисунок 4.3.23 – Досліджувана зміна рішення водія ТЗ про проїзд стоп-лінії на жовтий сигнал світлофора

Графік, представлений на рис. 4.3.23, наглядно відображає зміну рішення водія ТЗ про проїзд стоп-лінії на жовтий сигнал світлофора, в залежності від швидкості ТЗ і дистанції до стоп-лінії в реальній ситуації. За результатами проведеного дослідження було виявлено, що функція ймовірності проїзду ТЗ за стоп-лінію, задана по замовчуванням в PTV Vision® VISSIM, збігається з тими рішеннями, які спостерігаються у ТЗ при русі по вулично-дорожньої мережі в місті Житомир. Однак не у всіх містах ситуація може бути такою ж. Для того щоб визначити актуальність досліджуваної функції ймовірності, рекомендовано дослідити поведінку водіїв ТЗ при жовтому сигналі світлофора.

Нагадаємо, що ймовірність проїзду стоп-лінії на жовтий сигнал визначається в PTV Vision® VISSIM параметрами α , β_1 , β_2 , які називаються факторами ймовірності. Для отримання значень цих параметрів в формулу потрібно підставити значення p . Щоб змінити значення параметрів в PTV Vision® VISSIM, необхідно зайти в пункт меню «Базові дані - Манера їзди - Світлосигнальні установки» (рис. 4.3.24). У пункті «Модель рішення» представленого на рис. 4.3.20 меню необхідно вибрати значення «Тверде рішення». При цьому стануть активними поля ймовірності «Alpha», «Beta 1», «Beta 2». В поля слід занести досліджувані значення, вірогідність яких були отримані в результаті дослідження ймовірності виїзду за стоп-лінію. Після зміни значень ймовірності моделювання поведінки водіїв стане більш схожим на досліджувану в вашому місті манеру поведінки водіїв.

Моделювання сповільнення ТЗ перед стоп-лінією при увімкненні жовтого сигналу світлофора. Якщо в ході моделювання водій на основі моделі вирішує зупинитися перед стоп-лінією на жовтий сигнал світлофора, то в моделі розраховується постійне сповільнення, з яким він зможе зупинитися біля стоп-лінії ($b_{applied}$). Розрахунок здійснюється за формулою:

$$b_{applied} = MIN(b_{required} \times b_{max}) \quad (4.3.73)$$

де $b_{applied}$ – постійне сповільнення, м/с²; $b_{required}$ – необхідне сповільнення, м/с²; b_{max} – максимальне сповільнення, м/с². Функція мак – максимальних сповільнення задана в PTV Vision® VISSIM за умовчанням.

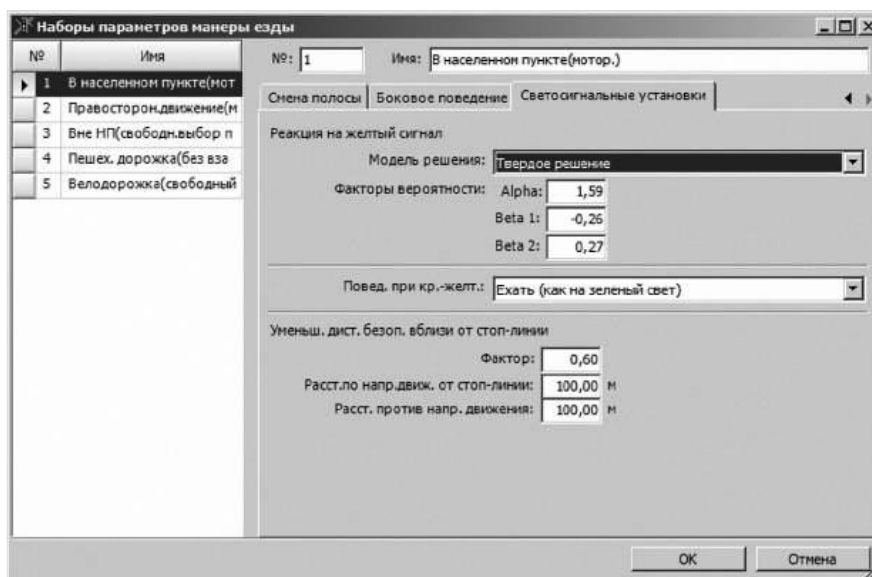


Рисунок 4.3.24 – Зміна значень параметрів PTV Vision® VISSIM, що відповідають за вірогідність проїзду на жовтий сигнал світлофора

Функція сповільнення для легкових ТЗ в PTV Vision® VISSIM представлена на рис. 4.3.25. Проведемо порівняння для ситуації, коли швидкість ТЗ дорівнює 60 км/год, а дистанція до стоп-лінії становить 60 м. Сповільнення при швидкості 60 км/год, згідно графіку на рисунку, дорівнює 6,9 м/с². Обчислимо $b_{required}$ для даної ситуації:

$$b_{required} = \frac{v^2}{2dx} \quad (4.3.74)$$

де $b_{required}$ – потрібне сповільнення, м/с²; v – швидкість ТЗ, м/с; dx – відстань до стоп-лінії, м.

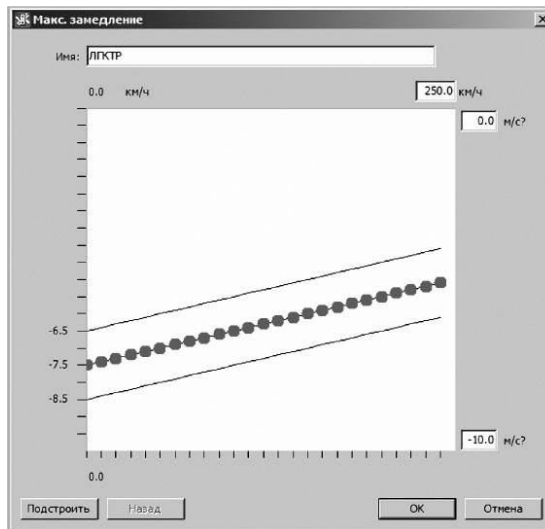


Рисунок 4.3.25 – Графік функції максимального сповільнення легкових ТЗ, запропонований за умовчанням PTV Vision® VISSIM

При швидкості 60 км/год і дистанції 60 м до стоп-лінії

$$b_{required} = \frac{16,6 \text{ м/с}^2}{2 \times 60\text{м}} = 0,12\text{м/с}^2 \quad (4.3.75)$$

Так як

$$b_{required}(-0,13\text{м/с}^2) > b_{max}(-6,9\text{м/с}^2) \quad (4.3.76)$$

при моделюванні процесу сповільнення на жовтий сигнал було вибрано максимальне сповільнення. Для того, щоб проаналізувати, яке сповільнення при моделюванні поведінки водіїв використовується ними для зупинки перед стоп-лінією, необхідно порівняти дані значення при різних швидкостях і дистанціях до стоп-лінії. Для цього необхідно розрахувати значення необхідного сповільнення для швидкостей від 10 до 60 км/год і відстані до стоп-лінії від 10 до 100 м.

З метою перевірки актуальності стандартних значень функції максимального сповільнення b_{max} потрібно провести натурне дослідження сповільнення ТЗ.

Для перевірки актуальності функції сповільнення, заданої в PTV Vision® VISSIM за замовчуванням (рис. 4.3.21), необхідно в першу чергу побудувати функцію сповільнення, яка спостерігається реально. Для цього повинні бути отримані, досліджені в реальній ситуації, значення сповільнення.

Для отримання значень сповільнення при реакції водія на жовтий сигнал світлофора були використані результати аналізу зміни швидкості у ТЗ поблизу регульованих перехресть м. Житомира. В результаті обстеження зміни швидкості для кожного моменту часу його проведення були отримані дані про

координати транспортного засобу (градус довготи, градус широти) і його швидкості (км/год), які представлені в графічному вигляді на рис. 4.3.24.

За наявними даними про координати транспортних засобів були визначені ділянки, які знаходяться поблизу від регульованих перехресть. Було виявлено, що на таких ділянках швидкість ТЗ сповільнюється.

Для того, щоб визначити значення сповільнення транспорту на ділянках поблизу регульованих перехресть, необхідно провести кілька етапів дослідження зниження швидкості досліджуваного ТЗ. На першому етапі необхідно отримати деяку початкову швидкість ТЗ v_1 і зафіксувати момент часу t_1 , в який ця швидкість була отримана. Зауважимо, що швидкість для цього етапу має відстежуватися на таких ділянках, на яких у водіїв ТЗ спостерігається манера поведінки, яку можна назвати «вільна їзда», тобто, на ділянках, що не містять будь-яких перешкод для руху. На другому етапі потрібно отримати швидкість v_2 , яка спостерігається у ТЗ в результаті сповільнення, і зафіксувати момент часу t_2 , в який ця швидкість була отримана. Швидкість для другого етапу відстежувалася для ділянок, що розміщені поблизу перехресть з встановленими на них світлофорними об'єктами. Вибрані значення представлені в табл. 4.3.11.

Таблиця 4.3.11 – Досліджувана зміна швидкості ТЗ в безпосередній близькості від регульованих перетинів

№ П/П	Момент початку сповільнення, с	Початкова швидкість, км/год	Момент кінця сповільнення, с	Кінцева швидкість, км/год
1	0	23,8	21	1,7
2	0	51,4	16	1,2
3	0	39,3	44	1,8
4	0	44,1	33	1,9
5	0	24,7	30	1,3
6	0	10,8	13	1,2
7	0	27,6	11	1,1

За даними табл. 4.3.11 були визначені значення уповільнень ТЗ. При обчисленні використовувалося співвідношення для лінійного сповільнення

$$a = \frac{v_1 - v_0}{t} \quad (4.3.77)$$

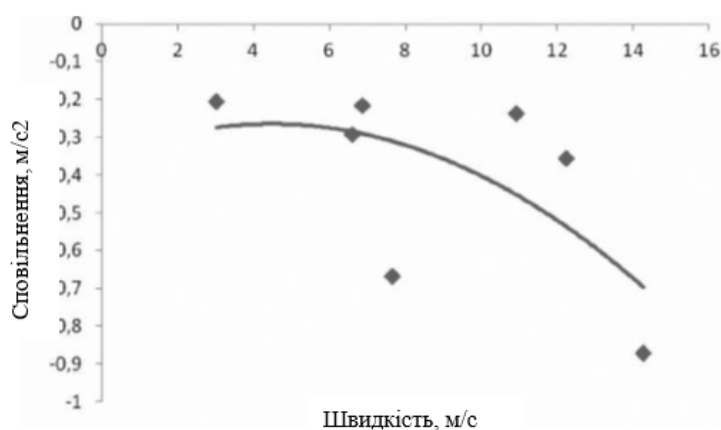
де a – лінійне сповільнення, м/с²; v_1 – кінцева швидкість ТЗ, м/с; v_0 – початкова швидкість ТЗ, м/с; t – час, який знадобився ТЗ для досягнення кінцевої швидкості, с. Попередньо обчислені значення сповільнення представлені в табл. 4.3.12.

Таблиця 4.3.12 – Значення досліджуваного сповільнення в залежності від швидкості

Початкова швидкість, м/с	Спостережуване сповільнення, м/с ²	Початкова швидкість, м/с	Спостережуване сповільнення, м/с
0,333333	-0,20513	0,5	-0,23674
0,472222	-0,29233	0,527778	-0,35522
0,361111	-0,21667	0,333333	-0,87153
0,305556	-0,66919		

Значення, наведені в таблиці, були нанесені на координатну площину. Кожна точка – це значення сповільнення для певної швидкості. Далі точки на площині були апроксимовані поліноміальною функцією 2-го ступеня. Отриманий графік зміни сповільнення в залежності від швидкості представлений на рис. 4.3.23.

Нагадаємо, що кінцевою метою дослідження є визнання актуальності функції сповільнення, встановленої в PTV Vision® VISSIM. Для цього необхідно провести її порівняння з досліджуваним сповільненням. З цією метою було проведено порівняльний аналіз функцій максимального сповільнення, запропонованого в PTV Vision® VISSIM, і досліджуваного сповільнення. Спробуємо візуально оцінити взаємну відповідність двох функцій сповільнення. Для цієї мети на одній координатній площині розмістимо графіки функцій досліджуваного сповільнення і стандартного сповільнення, встановленого в моделі PTV Vision® VISSIM (рис. 4.3.26).



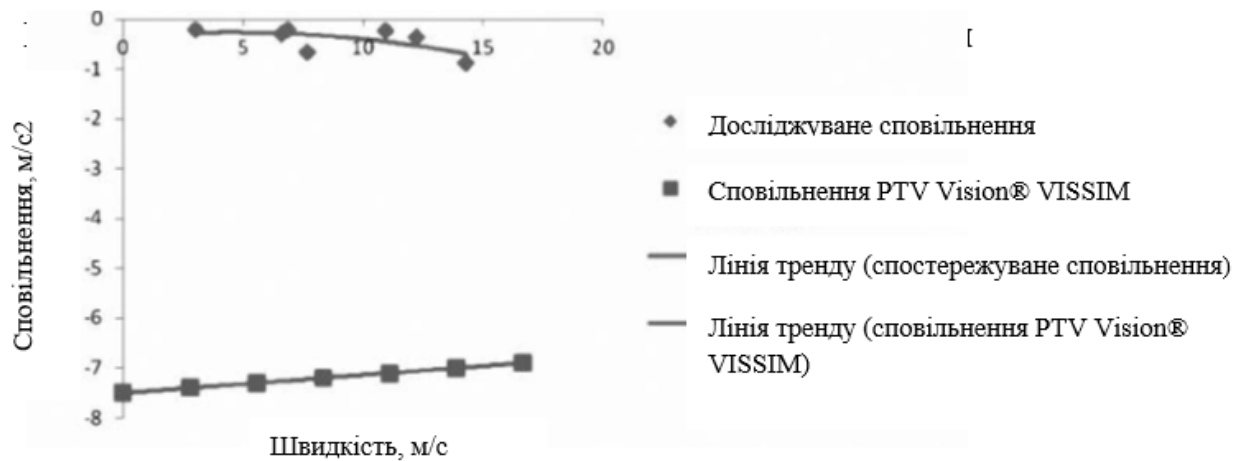


Рисунок 4.3.26 – Відповідність спостережуваних значень сповільнення і значень сповільнення, встановлених в PTV Vision® VISSIM

З рисунка видно, що функція сповільнення в PTV Vision® VISSIM є лінійною і значення сповільнення набагато менше, ніж у досліджувальній функції сповільнення. Крім того, зі зростанням швидкості відзначається деяке зменшення сповільнення. Видима функція сповільнення, на відміну від функції сповільнення в PTV Vision® VISSIM, має нелінійну форму. Для актуалізації графіка сповільнення в PTV Vision® VISSIM необхідно отримати досліджувані значення сповільнення. Деякі досліджувані значення наведені в табл. 4.3.13 і на рис. 4.3.25.

Але щоб коректно ввести графік функції досліджуваного сповільнення в PTV Vision® VISSIM, потрібно отримати вибраквані значення з функції .

Таблиця 4.3.13 – Рекомендовані значення сповільнення ТЗ для зміни графіка максимального сповільнення в PTV Vision® VISSIM

Швидкість , км/год	Сповільнення , м/с ²	Швидкість , км/год	Сповільнення , м/с ²
10,8	-0,2747	39,3	-0,45381
23,8	-0,28644	44,1	-0,53948
24,7	-0,29159	51,4	-0,70044
27,6	-0,31203		

Рівняння лінії тренду має вигляд:

$$y = 0.0045x^2 + 0.04x - 0.3542 \quad (4.3.78)$$

За допомогою даного рівняння були отримані відсутні значення графіка функції сповільнення. Як аргумент функції x були підставлені значення швидкості з табл. 4.3.14. Значення функції досліджуваного сповільнення, які були розраховані за допомогою формули (4.3.82), наведені в табл. 4.3.14. Значення, зазначені в табл. 4.3.15, рекомендовані для коригування графіка максимального сповільнення в PTV Vision® VISSIM. Необхідність коригування графіка була доведена в ході проведення порівняльного аналізу функції сповільнення PTV Vision® VISSIM з функцією досліджуваного сповільнення. Нагадаємо, що між даними функціями існують значні розбіжності. Так, значення функцій сильно відрізняються один від одного (в окремих випадках на 5 м/с^2). Крім того, зі зростанням швидкості значення стандартної функції сповільнення PTV Vision® VISSIM зменшуються, в той час як значення даної функції сповільнення збільшуються. У зв'язку з тим, що були виявлені невідповідності графіків функцій сповільнення, необхідно відредагувати графік «Макс. сповільнення» в PTV Vision® VISSIM відповідно до значеннями з табл. 4.3.15. Щоб змінити графік максимального сповільнення, слід вибрати пункт меню «Базові дані - Функції - Максимальне сповільнення» і відповідно зі значеннями табл. 4.3.15 змінити графік функції. Підсумковий графік функції максимального сповільнення ТЗ для PTV Vision® VISSIM, змінений відповідно до рекомендованих значень сповільнення, представлений на рис. 4.3.27.

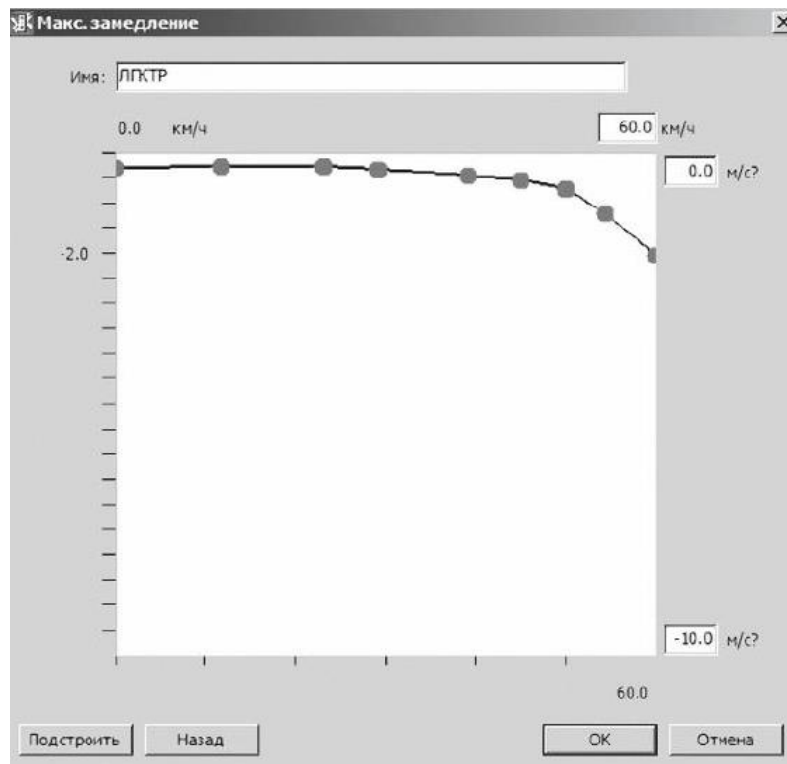


Рисунок 4.3.27 – Підсумковий графік функції максимального сповільнення легкових ТЗ в PTV Vision® VISSIM

Слід зазначити, що з моменту зміни графіка функції максимального сповільнення зміниться манера поведінки водіїв ТЗ. Зокрема, в процесі моделювання зміниться вибір водія між тим, за якої функції виробляти сповільнення - по функції необхідного $b_{required}$ або максимального b_{max} сповільнення. Нагадаємо, що при моделюванні рішення водія про зупинку перед стоп-лінією використовується мінімальна з двох функцій сповільнення – або необхідне сповільнення, або максимальне. У зв'язку з тим, що функція максимального сповільнення була змінена, необхідно переглянути моделювання манери поведінки водія, так як в процесі моделювання за деяких обставин може змінитися функція сповільнення, якої буде слідувати водій. Для того щоб зрозуміти, яке з двох сповільнень буде використовуватися при моделюванні поведінки водія, необхідно порівняти значення b_{max} при різних швидкостях і значення при різних швидкостях і дистанціях до стоп-лінії.

Якщо в процесі моделювання в результаті порівняння меншим виявиться значення функції b_{max} , то саме цю функцію буде виконувати водій ТЗ при уповільненні перед стоп-лінією. Якщо в процесі моделювання в результаті порівняння меншим виявиться значення функції $b_{required}$, водій ТЗ при уповільненні перед стоп-лінією буде використовувати цю функцію сповільнення.

В процесі моделювання в результаті порівняння значень $b_{required}$ і b_{max} , було виявлено, яка функція сповільнення перед стоп-лінією буде використана водієм при тих чи інших обставин (табл. 4.3.14). З даних таблиці видно, що необхідне сповільнення при моделюванні поведінки водія вибирається тільки при дистанції 10 м і швидкості ТЗ більш ніж 20 км/год (у всіх інших випадках водій використовує функцію сповільнення, поставлену на рис. 4.3.23). Значення необхідного сповільнення для цього випадків наведені в табл. 4.3.15. Таким чином, при зміні функції максимального

сповільнення в PTV Vision® VISSIM функція необхідного сповільнення вступає в силу тільки при дистанції до стоп-лінії 10 м і швидкості ТЗ більш 20 км/год. Значення функції в залежності від швидкості змінюються відповідно до табл. 4.3.15.

Таблиця 4.3.14 – Обране водієм сповільнення при моделюванні в PTV Vision® VISSIM

Швидкість, км/год	Дистанція до стоп-лінії, м										
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
10,8	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}
23,8	$b_{required}$	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}
24,7	$b_{required}$	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}
27,6	$b_{required}$	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}
39,3	$b_{required}$	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}
44,1	$b_{required}$	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}
51,4	$b_{required}$	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}

Таблиця 4.3.15 – Значення сповільнення ТЗ в PTV Vision® VISSIM для дистанції 10 м і швидкості ТЗ більше 20 км/год

Швидкість, км/год	Необхідне сповільнення, м/с ²	Швидкість, км/год	Необхідне сповільнення, м/с ²
23,8	-0,33056	39,3	-0,54583
24,7	-0,34306	44,1	-0,6125
27,6	-0,38333	51,4	-0,71389

Поведінка при червоно-жовтому сигналі світлофора

Поведінка водіїв ТЗ при червоно-жовтому сигналі світлофора може бути двоякою: він приймає рішення або «чекати» (як на червоне світло) або «їхати» (як на зелене світло). Для України актуальним рішенням водія є «чекати» (згідно п. 8.10 ПДР).

Зменшення дистанції безпеки поблизу стоп-лінії

У місці дислокації світлофора водії керують ТЗ з підвищеною увагою, в результаті чого під час руху утримують меншу дистанцію безпеки між попутними транспортними засобами, ніж при русі на ділянці ВДМ без світлофора. Дане явище характеризується в психо-фізіологічній моделі параметром «Зменшена дистанція безпеки поблизу стоп-лінії», який відповідає за розмір дистанції (м). Параметр має кілька характеристик:

3.1. Фактор $F_{reduced_distance}$ визначається користувачем. Фактор – це коефіцієнт, на який множиться дистанція безпечності ТЗ. В результаті множення виходить зменшена дистанція безпеки:

$$d_{reduced} = d \times F_{reduced\ distance} \quad (4.3.79)$$

при цьому

$$F_{reduced\ distance} < 1 \quad (4.3.80)$$

Також варто відзначити, що дистанція безпеки, отримана в результаті розрахунку по формулі (4.3.80), діє тільки в області впливу зменшеної дистанції безпеки. Ця область задається дистанцією безпеки до стоп-лінії S_{to} і дистанцією безпеки після стоп-лінії S_{after} . Особливим є випадок, при якому водій ТЗ змінює смугу руху безпосередньо перед стоп-лінією. У таких випадках фактор зменшення дистанції перед стоп-лінією F_{stop} порівнюється з фактором зменшення дистанції при зміні смуги F_{change} . Тоді:

$$F_{reduced\ distance} = MIN(F_{stop}F_{change}) \quad (4.3.81)$$

3.2. Дистанція безпеки до стоп-лінії S_{to} . У цьому місці починається область, де діє зменшена дистанція безпеки.

3.3. Дистанція безпеки після стоп-лінії S_{after} . У цьому місці закінчується область, на якій діє зменшена дистанція безпеки. Відстані у напрямку руху від стоп-лінії і відстані проти напрямку руху від стоп-лінії вказані на рис. 4.3.28.

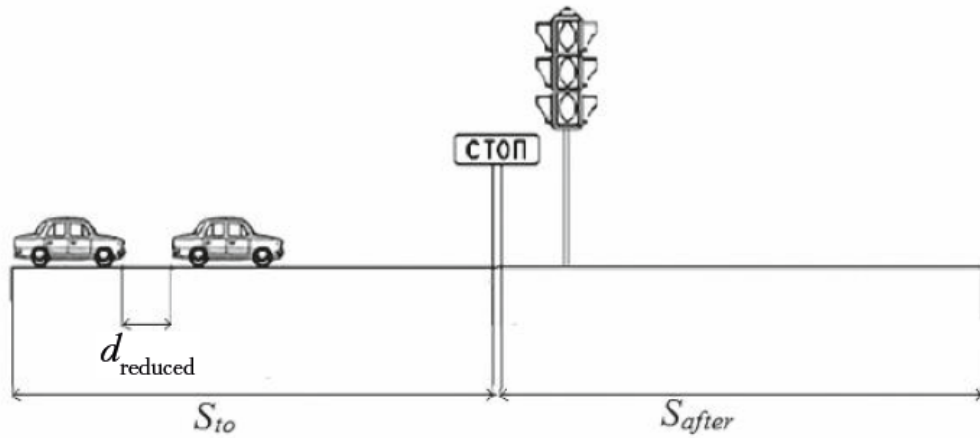


Рисунок 4.3.28 – Характеристики зменшеною дистанції безпеки.

Визначення фактора зменшення дистанції безпеки і області впливу цього фактора може суттєво позначитися на результатах моделювання дистанції безпеки. За умовчанням в PTV Vision® VISSIM значення фактора дорівнює 0,6; значення відстані у напрямку руху - 100 м; значення відстані проти напрямку руху - 100 м. Стандартні значення параметрів моделі, що впливають на зменшення дистанції безпеки. В процесі моделювання дані значення характеризують такі дії водія ТЗ: дистанція безпеки зменшується на 40% за 100 м до стоп-лінії і приймає своє колишнє значення після 100 м від стоп-лінії. Для того, щоб визначити актуальність стандартних значень PTV Vision® VISSIM, необхідно провести порівняння стандартних значень зі значеннями, отриманими в результаті натурного спостереження. Першим кроком до порівняння значень є проведення натурного обстеження. Спостережувані значення зменшення дистанції безпечності. Для отримання спостережуваних значень зменшеної дистанції безпеки було проведено додаткове обстеження цієї дистанції. Враховувалася не тільки середня швидкість транспортного потоку і середня дистанція між автомобілями, а й величина дистанції до і після стоп-лінії. Так само, як і в натурних дослідженнях дистанції безпечності, були обстежені записи з камер відеоспостереження. Заміри значень швидкості і дистанції проводилися для транспортних засобів, що знаходяться на різних відстанях до стоп-ліній. Так, були обстежені параметри руху ТЗ в потоці на відстанях 0 - 30, 30 - 60 і 60 - 90 м до і після стоп-лінії. Крім того, були обстежені параметри руху ТЗ на більш віддалених від стоп-лінії ділянках. На ділянках, віддалених більш ніж на 130 м від стоп-лінії, манера поведінки водіїв в транспортному потоці приймалася як «вільна їзда». Результати обстеження зменшеної дистанції безпечності представлені в табл. 4.3.18. У зв'язку з тим, що обстеження дистанції при однакових швидкостях неможливо, було прийнято рішення порівнювати не значення дистанції безпеки, а відносини дистанції до швидкості. В результаті дослідження поведінки водіїв в потоці були отримані різні відношення дистанції

між ТЗ до їх швидкості при різних відстанях від світлофора. До недоліків обстеження можна віднести те, що неможливо провести обстеження дистанції при однакових швидкостях. Останнє необхідно для того, щоб коректно оцінити зміни дистанції безпеки при різних відстанях від світлофора. Отримані значення відношень дистанції до швидкості ТЗ були усереднені для різних ділянок спостереження: до світлофора, після світлофора, а також для вільної їзди. В результаті усереднення було встановлено, що в безпосередній близькості до світлофора відношення дистанції до швидкості зменшується на 27%.

Зіставлення реальних значень зменшення дистанції безпеки і стандартних значень PTV Vision® VISSIM.

Для того щоб актуалізувати дані, запропоновані в PTV Vision® VISSIM за замовчуванням, необхідно провести порівняння зменшених дистанцій безпеки - встановленої за замовчуванням та дослідної у програмному комплексі PTV Vision® VISSIM зменшена дистанція безпеки за замовчуванням в близькості від світлофора становить 40% дистанції безпеки, що спостерігається при вільній їзді.

При проведенні обстеження було встановлено, що в м. Житомирі дистанція безпеки в безпосередній близькості від світлофорів зменшується лише на 27%.

Рекомендовані значення параметрів, що впливають на зменшення дистанції безпеки. Щоб актуалізувати значення скороченої дистанції безпеки, необхідно змінити фактор її зменшення (Fredused_distance) в PTV Vision® VISSIM до такого значення, яке зменшить дистанцію безпеки

поблизу світлофорів на 27%. Для встановлення актуального чинника в PTV Vision® VISSIM вибирається пункт меню «Базові дані - Манера їзди» і потім «Світлосигнальні установки» (рис. 4.3.29). Далі в полі «Фактор» змінюється значення «0,60» на «0,73». Це дозволить отримати дистанцію безпеки на 27 % менше.

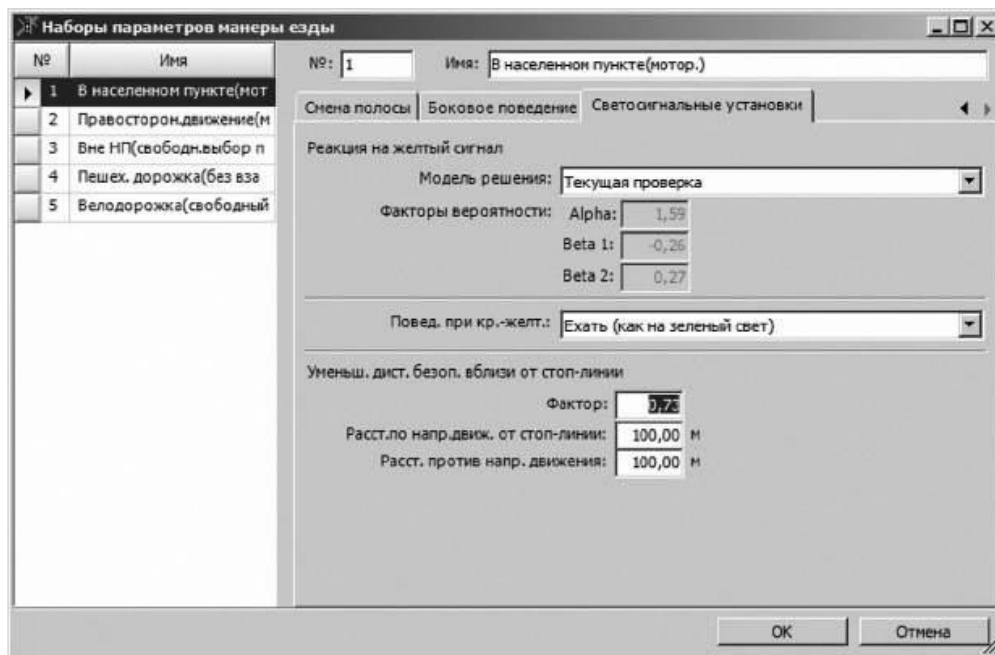


Рисунок 4.3.29 – Зміна фактору зменшення дистанції в програмному комплексі PTV Vision® VISSIM

Зміна фактору зменшення дистанції безпеки вплине на результати її моделювання. При цьому дистанція безпеки перед стоп-лініями і після них, в порівнянні зі стандартними значеннями, запропонованими в PTV Vision® VISSIM за замовчуванням, - збільшується.

З метою покращення наближення моделі руху ТЗ, рекомендується також провести додаткові дослідження для встановлення параметрів, які відповідають за маневр зміни смуги руху.

Встановлення параметрів моделі руху, відповідають за маневр зміни смуги.

Базові визначення, що відносяться до зміни смуги

Перш ніж перейти до опису параметрів, що характеризують маневр зміни смуги транспортним засобом, необхідно згадати базові визначення, що відносяться до процесу зміни смуги. Частина термінів використовується в інтерфейсі програми PTV Vision® VISSIM.

Маневр зміни смуги – виїзд транспортного засобу з зайнятої смуги зі збереженням початкового напрямку руху.

Власний ТЗ – транспортний засіб, водій якого має намір здійснити маневр зміни смуги.

ТЗ, що рухається попереду – транспортний засіб, що рухається перед власним ТЗ по тій же смугі.

ТЗ, що рухається позаду - транспортний засіб, що рухається за власним ТЗ по тій же смугі.

Перший автомобіль проміжку на смузі – транспортний засіб, що рухається першим в проміжку на бажаній смузі, який має намір вбудуватися водій власного ТЗ при здійсненні маневру зміни смуги.

Другий автомобіль проміжку на смузі – транспортний засіб, що рухається другим в проміжку на бажаній смузі, який має намір вбудуватися водій власного ТЗ при здійсненні маневру зміни смуги.

Бажана смуга – смуга руху, на яку має намір перебудуватися водій власного ТЗ при здійсненні маневру зміни смуги.

Позиція вимушеної зупинки – точка на займаній смузі, в якій змушений буде зупинитися водій власного ТЗ, якщо йому не вдасться здійснити маневр зміни смуги.

Проміжок на смузі – дистанція між автомобілями, що рухаються один за одним на бажаній смузі.

Прийнятний проміжок на смузі – дистанція між автомобілями, наступними один за одним на бажаній смузі, яка дозволить власникам ТЗ здійснити маневр зміни смуги руху.

Базові визначення візуально представлені на рис. 4.3.30.



Рисунок 4.3.30 – Опис маневру зміни смуги. Базові визначення

Головними умовами здійснення маневру зміни смуги в процесі моделювання руху транспортних потоків в PTV Vision® VISSIM є наступні:

- 1) власний ТЗ і перший автомобіль проміжку на смузі не повинні зіткнутися;
- 2) другий автомобіль проміжку на смузі не повинен гальмувати.

В PTV Vision® VISSIM передбачені два основних види маневрів зміни смуги:

1. Довільна зміна смуги (*англ.* Free lane selection - вільний вибір смуги)- це маневр зміни смуги, що здійснює водій ТЗ для отримання більшої свободи руху

або більш високій швидкості. У разі маневру довільної зміни смуги необхідно дотримання бажаної дистанції безпеки по відношенню до другого автомобілю в проміжку на смузі. Змінюючи параметри дистанції безпеки (які використовуються для зміни поведінки за ТЗ, що їхав попереду), можна управляти поведінкою при зміні смуги.

2. Необхідна зміна смуги (*англ.* Right-side rule – правило правого боку) - це маневр зміни смуги, що здійснює водій ТЗ з метою зробити в подальшому маневр по зміні напрямки руху.

У разі, якщо маневр зміни смуги необхідний, параметри манери їзди містять значення сповільнення власного ТЗ і другого автомобіля проміжку на смузі, які змінюються в залежності від відстані до позиції вимушеної зупинки

В обох випадках, коли водій приймає рішення здійснити маневр зміни смуги, при моделюванні цього маневру на першому етапі відбувається перевірка наявності проміжку на бажаній смузі. Розмір проміжку залежить від швидкості власного ТЗ і швидкості другого автомобіля проміжку на смузі. У разі здійснення маневру необхідної зміни смуги розмір проміжку також залежить від ступеня «агресивності», тобто від відповідного максимального сповільнення.

Установки, які відповідають за моделювання маневру зміни смуги, в PTV Vision® VISSIM задані в пункті меню «Базові дані - Манера їзди - Зміна смуги» (рис. 4.3.31).

Всі параметри, які відповідають за моделювання маневру зміни смуги в PTV Vision® VISSIM, зібрані в чотири групи:

1. Основну поведінку (*англ.* General behavior – загальна поведінка).
2. Необхідна зміна смуги (маршруту) (*англ.* Necessary lane change (route) – необхідна зміна смуги (маршруту)).
3. Додаткові параметри (*англ.* other parameters – інші параметри).
4. Кооперативна зміна смуги (*англ.* Cooperative lane change – кооперативна зміна смуги).

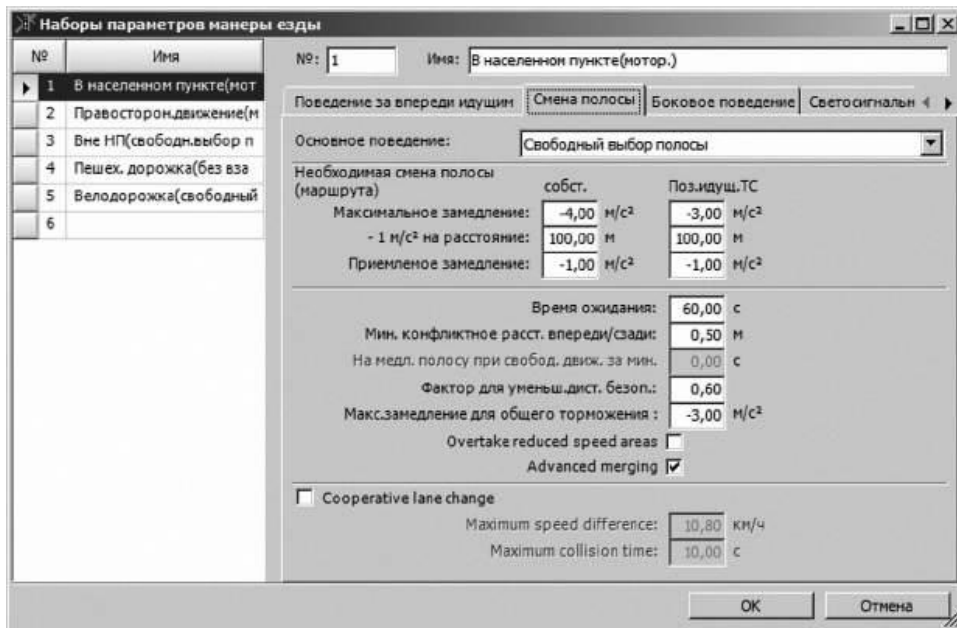


Рисунок 4.3.31 – Вікно редагування «Стили манеры їзди», в якому проводиться завдання параметрів маневру зміни смуги в PTV Vision® VISSIM

Параметри, що визначають спосіб обгону

У зв'язку з тим, що обгін теж відноситься до процесу зміни смуги, маневр обгону також буде розглянуто в даному розділі. Перед тим як перейти до параметрів, відповідає в PTV Vision® VISSIM за обгін, дамо визначення терміну «обгін».

Обгін – це випередження одного або кількох рухомих транспортних засобів, пов'язане з виїздом із займаної смуги. У PTV Vision® VISSIM за маневр обгону відповідає параметр «Основна поведінка».

«Основна поведінка» – це вид способу обгону. Даний параметр при моделюванні процесу руху автомобіля в транспортному потоці може набувати таких значень:

1. Вільний вибір смуги – це такий спосіб обгону, при якому транспортному засобу дозволено обганяти по будь-якій смугі.

2. Правосторонній рух (*англ.* Right side rule - правило правої смуги). Дозволяє обгін по смугі з великими швидкостями (лівій смугі), тільки якщо швидкість в даній смугі перевищує 60 км/год. Якщо швидкість менше 60 км/год, то ТЗ дозволяється обгін по смугі з більш повільною швидкістю (правої смугі). Однак обгін по смугі з малою середньою швидкістю потоку дозволений тільки в тому випадку, якщо різниця між швидкістю ТЗ та середньою швидкістю потоку в смугі становить максимум 20 км/год.

Значення параметра моделі, запропоноване за замовчуванням в PTV Vision® VISSIM для моделювання обгону. У PTV Vision® VISSIM існує кілька наборів параметрів манери їзди, в залежності від яких змінюється моделювання

поведінки водія при виконанні маневру зміни смуги. За умовчанням в PTV Vision® VISSIM користувачеві пропонується використовувати набір параметрів манери поведінки «в населеному пункті», який характеризує поведінку водіїв ТЗ в населеному пункті. У цій манері їзди використовується значення параметра «Основна поведінка» – «Вільний вибір смуги».

При створенні нового набору параметрів манери поведінки по замовчуванню в PTV Vision® VISSIM також вибирається «Основна поведінка»-«Вільний вибір смуги».

Рекомендовані значення параметра, що відповідає за моделювання обгону. Для того, щоб моделювання обгонів ТЗ було найбільш наближене до реальної ситуації, необхідно в меню «Зміна смуги» змінити значення параметра «Основна поведінка» та «Вільний вибір смуги» на « правосторонній рух ». Значення «Вільний вибір смуги» рекомендується використовувати при моделюванні пішохідного руху.

Параметри, що визначають процес необхідної зміни смуги (маршруту)

Часто водієві потрібно зробити маневр зміни смуги, щоб мати можливість продовжити рух по обраному маршруту. У PTV Vision® VISSIM для таких ситуацій використовується вид зміни смуги «Необхідна зміна смуги маршруту». При цьому виді зміни смуги водій заздалегідь знає про те, що йому потрібно перебудуватися, і даний маневр починає здійснюватися заздалегідь, до позиції вимушеної зупинки. При цьому водій при наближенні до позиції вимушеної зупинки більш сповільнює ТЗ.

Для виконання маневру необхідної зміни смуги (виходячи із заданого маршруту) можуть бути вказані прийнятне сповільнення, з точки зору водія власного ТЗ і ТЗ, що йде позаду, а також максимальне сповільнення. Крім того, може бути вказано відстань до позиції вимушеної зупинки.

Значення параметрів моделі, запропонованих за замовчуванням в PTV Vision® VISSIM для моделювання маневру необхідної зміни смуги. Функцію зміни сповільнення при здійсненні маневру необхідної зміни смуги візуально можна відобразити за допомогою графіка, в якому по осі ординат вказані значення сповільнення, а по осі абсцис – відстані до позиції зупинки.

Для побудови графіка, що описує процес необхідної зміни смуги, запропонованого за замовчуванням в PTV Vision® VISSIM, використовувалися значення параметрів, представлені в табл. 4.3.20.

Значення параметрів, запропоновані за замовчуванням в PTV Vision® VISSIM для моделювання маневру необхідної зміни смуги, також представлені на рис. 4.3.32.

Необходимая смена полосы (маршрута)	собст.	Поз.идущ.ТС
Максимальное замедление:	-4,00 м/с ²	-3,00 м/с ²
- 1 м/с ² на расстояние:	100,00 м	100,00 м
Приемлемое замедление:	-1,00 м/с ²	-1,00 м/с ²

Рисунок 4.3.32 – Значення параметрів, запропоновані за замовчуванням в PTV Vision® VISSIM для моделювання маневру зміни смуги

Значення функції зміни сповільнення, запропоновані по замовчуванням в PTV Vision® VISSIM для моделюванні маневру необхідної зміни смуги, представлені в табл. 4.3.16.

Таблиця 4.3.16 – Значення функції зміни сповільнення, запропоновані за замовчуванням в PTV Vision® VISSIM для моделювання маневру необхідної зміни смуги

Відстань до позиції примусової зупинки, м	Запропоноване за замовчуванням значення сповільнення, м/с ²	
	Власного ТЗ	Заднього ТЗ
600	1	1
500	1	1
400	1	1
300	1	1
200	2	1
100	3	2
0	4	3

Графік функції зміни сповільнення, який використовується при моделюванні маневру необхідної зміни смуги, представлений на рис. 4.3.33.

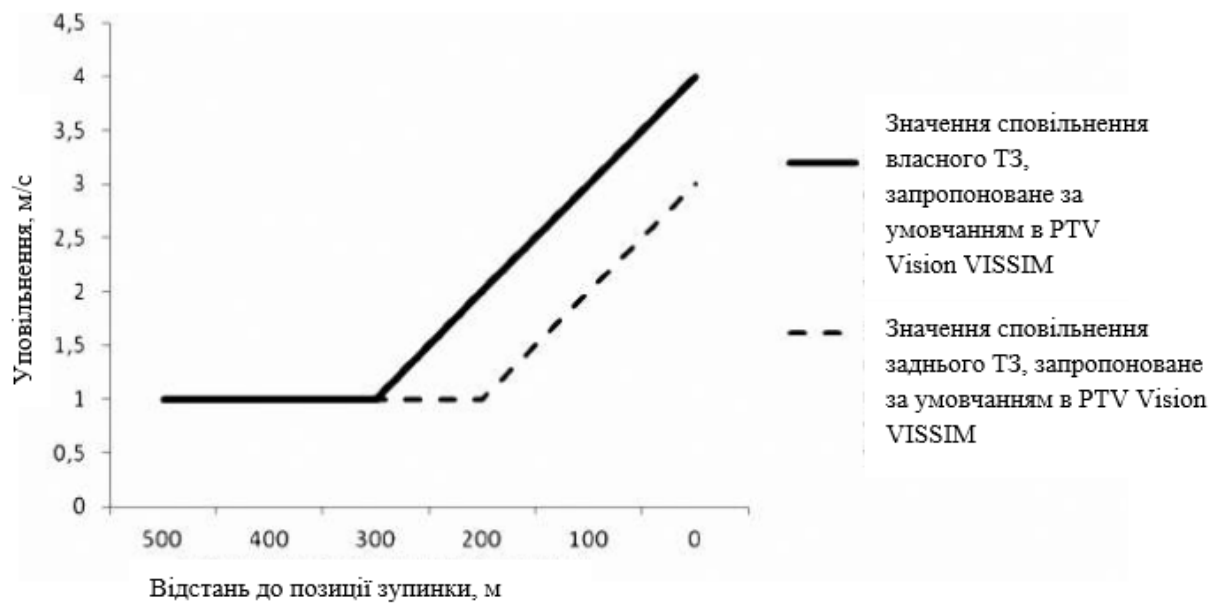


Рисунок 4.3.33 – Графік функції зміни сповільнення ТЗ при значеннях параметрів, запропонованих за замовчуванням в PTV Vision® VISSIM для моделюванні маневру необхідної зміни смуги

Графік функції відображає наступну зміну сповільнення ТЗ при здійсненні зазначеного маневру: ТЗ рухається з прийнятним сповільненням 1 м/с^2 до того моменту, коли до позиції вимушеної зупинки залишається менше 300 м. Після цього ТЗ починає збільшувати сповільнення таким чином, щоб на кожні 100 м збільшення становило 1 м/с^2 . Коли ТЗ досягає позиції вимушеної зупинки, сповільнення стає максимальним.

У реальному житті ситуацію можна охарактеризувати таким чином: якщо водій власного ТЗ хоче повернути наліво, то він буде рухатися з сповільненням 1 м/с^2 до того моменту, коли до повороту залишиться менше 300 м; далі водій почне сповільнюватися інтенсивніше - кожні 100 м на 1 м/с^2 . При цьому, якщо він досягне повороту, але не встигне перебудуватися, їм буде застосовано максимальне сповільнення.

Для того щоб перевірити актуальність даних значень, необхідно провести додатковий розрахунок значень функції зміни сповільнення, який дозволить краще вивчити манеру поведінки водіїв при здійсненні маневру зміни смуги. В основі розрахунку параметрів, рекомендованих для моделювання маневру необхідної зміни смуги, лежить гіпотеза про те, що злиття двох транспортних потоків можливе за умови, коли в основному транспортному потоці між ТЗ є достатній для здійснення такого маневру інтервал часу.

3.3 Управління транспортними потоками в містах

3.3. Traffic management in cities

Цілі моделювання. Етапи створення моделі

Прогнозні транспортні моделі призначені для моделювання обсягів транспортної роботи в мережах при відомому розміщенні потокоутворюючих об'єктів міста. За допомогою прогнозних моделей можна прогнозувати наслідки змін у транспортній мережі міста, що відбуваються в процесі зміни або транспортного попиту, або транспортної пропозиції.

Моделі цього типу застосовуються для підтримки прийняття рішень в області транспортного планування міста, для аналізу наслідків тих чи інших альтернативних проектів розвитку транспортної мережі та ін. [85].

Прогнозні моделі можна розділити на дві групи по основним завданням прогнозування:

- прогнозування в часі;
- прогнозування в просторі.

Основні етапи створення транспортної моделі:

- створення моделі транспортної пропозиції;
- створення моделі транспортного попиту;
- калібрування транспортної моделі.

Порядок створення транспортної моделі

Створення моделі транспортної пропозиції

Транспортна пропозиція включає в себе інфраструктуру систем транспорту, які включені в транспортну модель. Основними системами транспорту в транспортних моделях зазвичай виступають індивідуальний транспорт і міський пасажирський транспорт загального користування.

Основні елементи транспортної пропозиції для системи індивідуального транспорту [84]:

- «Вузли» (nodes) – перехрестя, перетину;
- «Перегони» (links) – ділянки вулично-дорожньої мережі;
- «Транспортні райони» (zones) – джерела і цілі скоєння кореспонденцій;
- «Примикання» (connectors) – з'єднують центри транспортних районів з мережею індивідуального та громадського транспорту.

Для системи громадського транспорту додатково до даних елементів додаються:

- зупинки громадського транспорту (stops);
- маршрути руху громадського транспорту (lines).

Транспортна пропозиція індивідуального транспорту Вузли

«Вузли» (nodes) визначають положення перехресть, є початковими і кінцевими точками перегонів.

Для кожного з можливих маневрів на перехресті важливо задати величини затримок при здійсненні даних маневрів. У зв'язку з цим при створенні транспортної пропозиції важливо правильно призначити типи перехресть і задати значення затримок для кожного типу можливих маневрів (поворотів). Значення затримок для різних типів вузлів і маневрів вносяться в меню «Мережа - Стандарти повороту» (рис. 4.3.34).

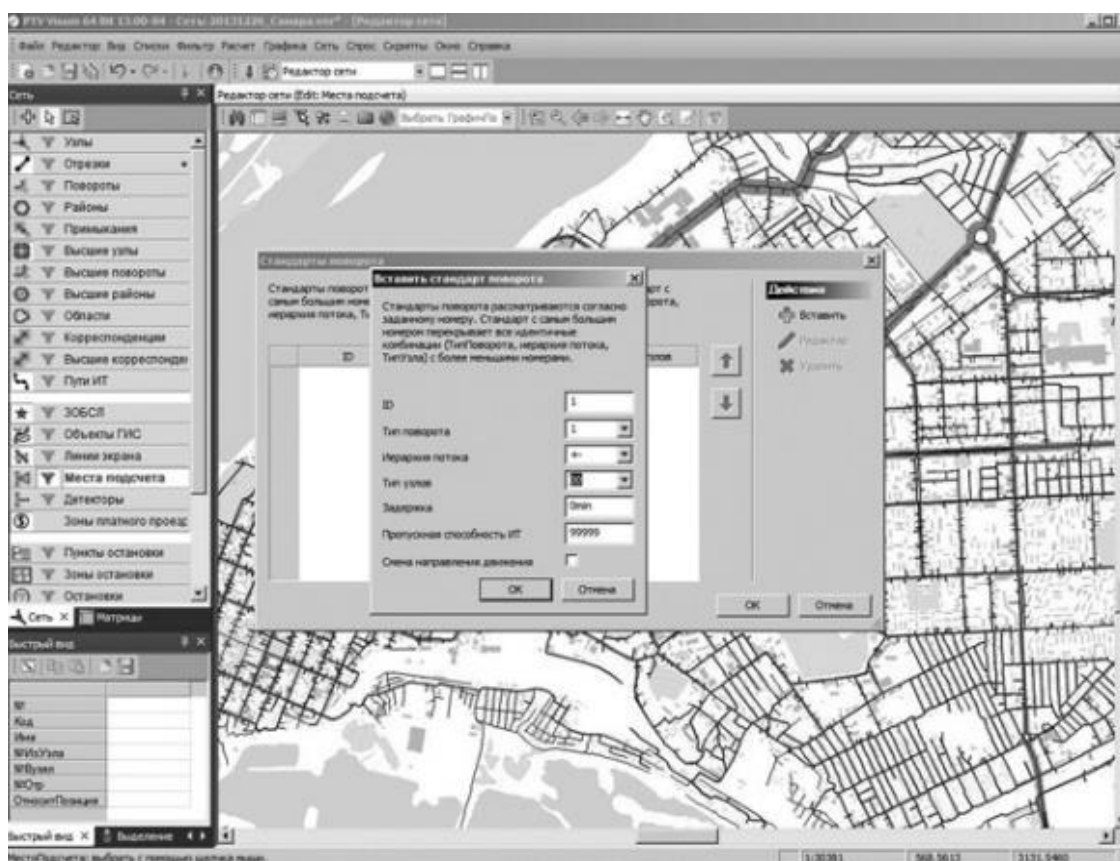


Рисунок 4.3.34 – Перехід в меню «Стандарти повороту»

Тут необхідно вибрати (рис. 4.3.34):

- тип повороту (прямо, направо, наліво);
- тип вузла (визначається користувачем, наприклад: 1 – регульовані вузли, 2 – нерегульовані вузли);
- ієрархія потоку;
- затримка в секундах;
- пропускна спроможність.

Окрім цього, в редакторі вузла є також наступні вкладки:

1) редактор геометрії вузла: задаються смуги руху і дозволені напрямки руху по цих смугах. Також є можливість задати розширення на перехресті.

2) редактор світлофорного об'єкта: тут задаються фази, сигнальні групи, для кожної сигнальної групи задаються смуги руху, для яких дозволено рух в зазначену фазу. У цьому ж вікні редактора можливо провести оптимізацію фаз світлофорного регулювання для існуючих транспортних потоків.

Відрізки

«Відрізки» (links) – це об'єкти транспортної пропозиції, які описують вулично-дорожню мережу. Відрізки з'єднують вузли і мають напрямок, при цьому, прямий і зворотний напрямки є самостійними об'єктами мережі, яким присвоюється загальний номер відрізка.

Для громадського транспорту тимчасові витрати обчислюються з розкладу руху. Крім того, для громадського транспорту можливо врахувати такі витрати, як час пішохідного підходу, час очікування, час пересадки та інші параметри. Підсумкові тимчасові витрати будуть сумою всіх витрат, як на доступ до зупинки громадського транспорту, так і всередині системи громадського транспорту (рух, пересадка).

Крім того, можливо також врахувати вартість проїзду. PTV Vision® VISUM дозволяє враховувати різні тарифні системи, в тому числі разові квитки та зональну систему. В результаті для кожної поїздки громадського транспорту розраховуються сумарні витрати аналогічно витратам по індивідуальному транспорту в термінах часу або грошовому еквіваленті.

Транспортні райони

«Транспортні райони» (zones) є початковими і кінцевими пунктами транспортного руху. У транспортній моделі кожен транспортний район зведений до центру тяжіння, який через примикання пов'язаний з вулично-дорожньою мережею. Межі транспортних районів показують просторове положення транспортного району, однак вплив на розподіл транспорту надає тільки положення його центру.

Необхідно всю територію міста розбити на транспортні райони, причому їх кількість і розмір залежать від розмірів міста і кількості населення.

Примикання

«Примикання» (connectors, дослівно – «з'єднання») – це об'єкти мережі, які з'єднують центри тяжіння транспортних районів з вулично-дорожньою мережею і містять інформацію про витрати (тимчасових або узагальнених) на доступ від центру тяжіння транспортного району до систем транспорту, допущених на примиканні. Кожен транспортний район в транспортній моделі має примикання мінімум з одним вузлом мережі.

Для пасажирів громадського транспорту примикання відповідає початковому і кінцевому пішохідному переходу, для нього зазвичай вказується

час руху пішки. Примикання громадського транспорту сполучають центр району з вузлом доступу до зупинки.

Транспортна пропозиція міського пасажирського транспорту загального користування

Транспортна модель, виконана в форматі PTV Vision® VISUM, дозволяє моделювати також систему громадського транспорту. В транспортну модель вводяться системи громадського транспорту, види рухомого складу з його характеристиками. Далі створюється маршрутна мережа громадського транспорту. Маршрутна мережа громадського транспорту прокладається по вулично-дорожньої мережі, кожен маршрут проходить по відрізках через вузли та пункти зупинок.

Ієрархія зупинок

Для більш точного і детального моделювання громадського транспорту в PTV Vision® VISUM створюється система зупинок.

При створенні системи зупинок громадського транспорту PTV Vision® VISUM вимагає створення ієрархічної структури: «зупинка» (stop) - «зона зупинки» (stop area) - «пункт зупинки» (stop point).

Для кожного пункту зупинки визначені системи транспорту, для яких дозволено зупинку, посадку і висадку пасажирів.

У разі якщо для пункту зупинки заборонена посадка-висадка будь-якої системи транспорту, далі при прокладці маршрутів цієї системи транспорту такий зупинний пункт не буде включатися в маршрут.

Маршрути, варіанти маршруту, розклад

Після створення системи зупинок в транспортну модель вводяться «маршрути» руху громадського транспорту (lines).

Кожен маршрут в транспортній моделі, виконаної в PTV Vision® VISUM, складається з декількох (зазвичай двох) «варіантів маршруту» (line routes), кожен з яких є одним з напрямків руху маршруту (від початкового пункту зупинки до кінцевого і назад). Один з варіантів зазвичай називається прямим напрямком маршруту, другий - зворотним.

Створення моделі транспортного попиту

В ході побудови моделі транспортного попиту визначаються джерела і цілі транспортного руху, вводяться параметри транспортної рухливості населення, формуються матриці кореспонденцій за видами транспорту і цілям здійснення транспортних кореспонденцій.

Транспортний попит визначається показниками транспортної рухливості населення.

Об'єкти транспортного попиту

Модель транспортного попиту в PTV Vision® VISUM має складну структуру. Для побудови стандартної чотирикрової моделі транспортного попиту спочатку необхідно ввести в транспортну модель існуючі системи транспорту.

У PTV Vision® VISUM є «системи транспорту» (transport systems), які через «сегменти попиту» (demand segments) зв'язуються з «матрицями кореспонденцій» (OD matrix). Сегмент попиту є визначальним для розрахунку попиту. Кожен сегмент попиту має рівно одну матрицю кореспонденцій і може складатися з декількох систем транспорту.

Системи транспорту, режими, сегменти попиту

Для громадського транспорту в транспортну модель введені такі системи транспорту:

- автобус;
- тролейбус;
- трамвай;
- маршрутні таксі.

Для кожного типу одиниць транспортних засобів були введені параметри рухомого складу – загальна місткість і кількість сидячих місць

Шари попиту

Один з основних структурних елементів транспортного попиту - «шар попиту» (demand strata). Мінімально можливий набір шарів попиту містить два шари. Це попит на пересування від дому на роботу і з роботи додому.

У транспортних моделях задані шари попиту, генераторами і споживачами транспортних кореспонденцій в яких є:

- дім;
- робота;
- місце навчання (ВНЗ, ССНЗ);
- інші місця тяжіння.

Джерелом транспортного руху, а отже, необхідними вихідними даними для розрахунку кожного з шарів попиту, в залежності від джерела і мети поїздки, є статистична інформація:

- чисельність населення;
- чисельність працюючого населення;
- кількість робочих місць;
- кількість робочих місць в сфері послуг;
- чисельність навчаючихся;
- кількість навчальних місць у ВНЗ.

Матриці витрат

Розрахунок транспортного попиту проводиться на основі витрат на переміщення між транспортними районами. Такі витрати розраховуються і зберігаються у вигляді «матриць витрат» (skim matrix). Елементи матриці витрат характеризують будь-які витрати, пов'язані з переміщеннями між усіма транспортними районами області дослідження.

В якості витрат для громадського транспорту найчастіше використовується сума наступних витрат:

- час початкового і кінцевого пішохідних підходів;
- час очікування на зупинці;
- час руху всередині рухомого складу;
- час очікування при пересадці;
- час пішохідного переходу при пересадці;
- вартість проїзду.

Матриці кореспонденцій

Під терміном «транспортна кореспонденція» мається на увазі стійко реалізоване за допомогою транспорту переміщення людини (одиниці вантажу) з одного місця в інше.

За методикою розрахунок матриці трудових кореспонденцій виконується в результаті рішення задачі математичного програмування, відомої як модель максимізації ентропії.

В основі алгоритму розрахунку матриць кореспонденцій в PTV Vision® VISUM лежить гравітаційна модель:

$$F_{ij} = k \cdot Q_i \cdot Z_j \cdot P_{ij} \quad (4.3.82)$$

де: F_{ij} – кількість кореспонденцій з району i в район j ;

Q_i, Z_i – величини обсягів відправлень і прибуття трудових кореспонденцій для району i ;

P_{ij} – функція переваги.

Калібрування транспортної моделі

Після створення моделі транспортної мережі в PTV Vision® VISUM необхідно перевірити достовірність результатів розрахунку, тобто чи відповідає модель реальній ситуації, що спостерігається на вулично-дорожній мережі міста. У процесі калібрування моделі потрібно домогтися максимальної близькості результатів, отриманих на основі моделювання, і даних, зібраних в результаті проведених обстежень параметрів транспортних і пасажирських потоків.

Прив'язка натурних даних про інтенсивність руху транспортних потоків

Для проведення калібрування необхідно попередньо прив'язати натурні дані до об'єктів моделі. У PTV Vision® VISUM зазвичай використовуються об'єкти «місця підрахунку» (count location).

Місця підрахунку - об'єкти мережі, які відзначають позицію на відрізку, де проводиться збір даних для конкретного напрямку відрізка. У кожне місце підрахунку можна вводити будь-яку кількість параметрів - денні, добові, погодинні інтенсивності, при необхідності з розбивкою за видами транспорту.

До кожного місця підрахунку можливо прив'язати наступні параметри:

Вхідні транспортні потоки:

- 1) денна інтенсивність легкового транспорту;
- 2) денна інтенсивність вантажного транспорту;
- 3) денна інтенсивність громадського транспорту;
- 4) інтенсивність в ранкову годину пік для легкового транспорту;
- 5) інтенсивність в ранкову годину пік для вантажного транспорту;
- 6) інтенсивність в ранкову годину пік для громадського транспорту;
- 7) інтенсивність у вечірню годину пік для легкового транспорту;
- 8) інтенсивність у вечірню годину пік для вантажного транспорту;
- 9) інтенсивність у вечірню годину пік для громадського транспорту.

Зазвичай під час калібрування використовуються тільки дані про вхідні транспортні потоки.

Збір вихідних даних про транспортну систему з використанням глобальної мережі Інтернет

Одну з основних проблем при створенні та актуалізації транспортних моделей становить збір вихідних даних. Проблема полягає, перш за все, в тому, що в транспортній системі постійно відбуваються ті чи інші зміни. Оперативно відслідковувати всі зміни, що відбуваються в транспортній системі досить складно. Крім того, транспортні моделі можуть мати неточності, пов'язані з помилками при зборі вихідних даних.

Одним з перспективних джерел отримання необхідних даних є Інтернет. Сучасні технології дозволяють створювати інструменти, за допомогою яких звичайні жителі міста, учасники дорожнього руху за допомогою спеціальних інтернет-ресурсів можуть вносити в транспортну модель зміни.

Роботи з калібрування і верифікації моделі

Під калібровку транспортних моделей розуміють широкий набір способів, технологій і інструментів, метою яких є підвищення достовірності моделі, тобто відповідність розрахункових значень основних параметрів моделі спостережуваним станам функціонування транспортної системи.

Основним параметром, за яким здійснюється оцінка якості розрахунку транспортних моделей і їх калібрування, є інтенсивність руху транспортних потоків.

Калібрування транспортної моделі за значеннями інтенсивностей транспортних потоків полягає в послідовному пошуку помилок в транспортній пропозиції, попиті або визначальних співвідношеннях в місцях з найбільшим відхиленням розрахункових значень інтенсивності руху транспортних потоків від натурних.

Особливості роботи з транспортною моделлю

Основне призначення прогнозних транспортних моделей – це, безумовно, можливість оцінити ті чи інші управлінські рішення, що стосуються транспортних систем, з точки зору якості функціонування даних транспортних систем. Для оцінки кожного управлінського рішення формується свій сценарій. Кожен сценарій включає в себе ті чи інші зміни, пов'язані з розвитком досліджуваної транспортної системи.

Види сценаріїв

Для формулювання кожного зі сценаріїв для їх подальшого моделювання необхідно визначити можливі типи, характеристики і особливості сценаріїв.

Розвиток транспортної системи в просторі

Розвиток транспортної системи в просторі – це розвиток, перш за все, територіальний. Головне питання, на яке відповідають сценарії просторового розвитку транспортної системи, – це «що буде, якщо ...», як зміниться якість функціонування транспортної системи в одному місці (території міста) при тих чи інших змінах, що відбуваються в іншій частині досліджуваної області.

Часовий період прогнозування – короткострокові і довгострокові сценарії

Часовий період моделювання, короткостроковий або довгостроковий, визначається в залежності від того, для якого транспортного попиту буде проводитися прогнозування.

Так, при короткостроковому прогнозуванні часто формуються сценарії, які включають зміни в транспортній пропозиції. При цьому при розрахунку

проводиться тільки процедура перерозподілу по мережі існуючої матриці кореспонденцій. Умовно такий розрахунок можна назвати однокроковим.

Довгострокове прогнозування обов'язково містить і зміни в транспортному попиті, і зміни в транспортній пропозиції. Однак головна особливість довгострокового прогнозування – це зміна параметрів транспортної рухливості населення. У зв'язку з тим, що в довгостроковому прогнозуванні використовується часовий період від 5 років і вище, при розробці сценарію потрібно в обов'язковому порядку враховувати зміну транспортної рухливості населення.

Створення транспортної моделі м. Житомир

У м. Житомир за підтримки управління транспорту та інфраструктури Житомирської міської ради розроблено транспортну модель міста.

Основні елементи даної моделі представлено на рис. 4.3.35–4.3.37.

Так на рис. 4.3.38 представлено поділ міста на транспортні райони.

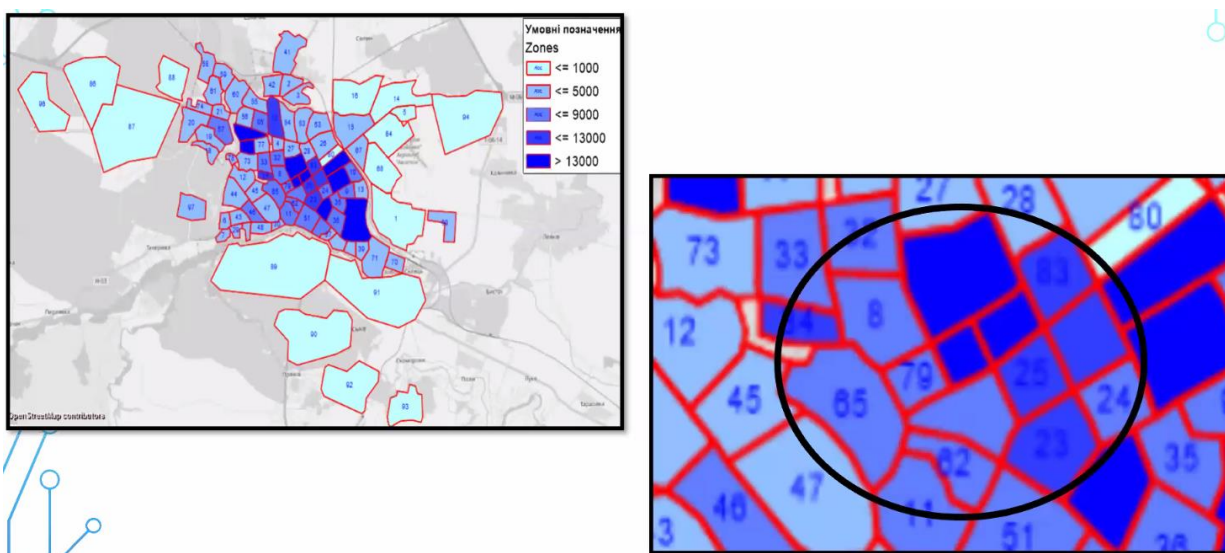


Рисунок 4.3.35 – Поділ м. Житомира на транспортні райони

На рис. 4.3.36. показано розподіл основних місць прикладання праці, що є джерелами транспортного попиту у шарах попиту «дім-робота» та «робота-дім»

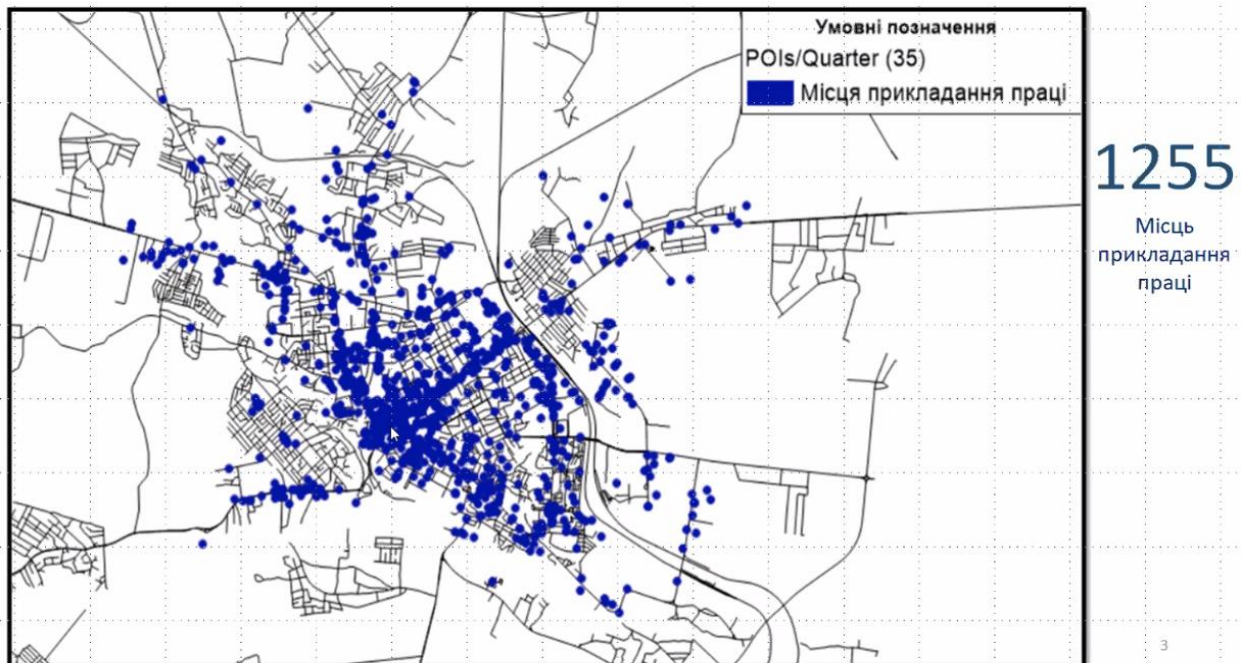


Рисунок 4.3.36 – Місця прикладання праці

На рис. 4.3.37. показано розташування зупинок громадського транспорту у місті Житомир.

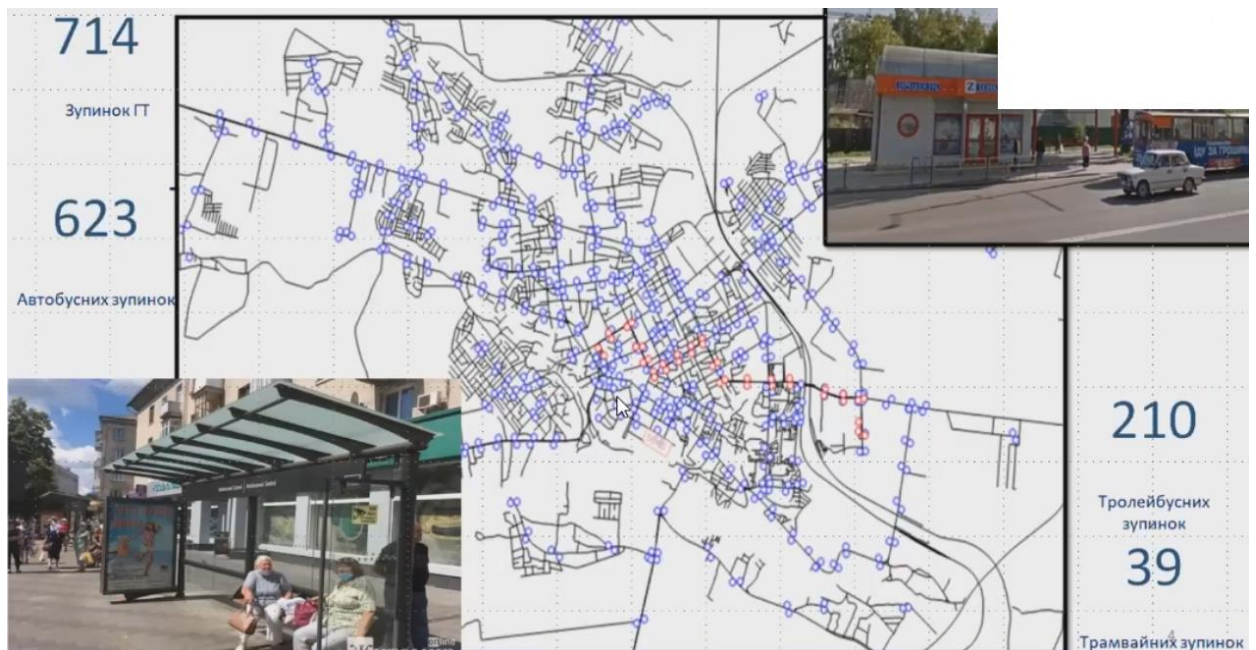


Рисунок 4.3.37 – Розташування зупинок громадського транспорту

Основні результати розрахунків, виконаних для існуючої мережі громадського транспорту у м. Житомирі показано на рис. 4.3.38–4.3.40.



Рисунок 4.3.38 – Доступність зупинок громадського транспорту

Так на рис. 4.3.38 показано результати аналізу доступності зупинок громадського транспорту, а на рис. 4.3.39 – місткості цих зупинок.

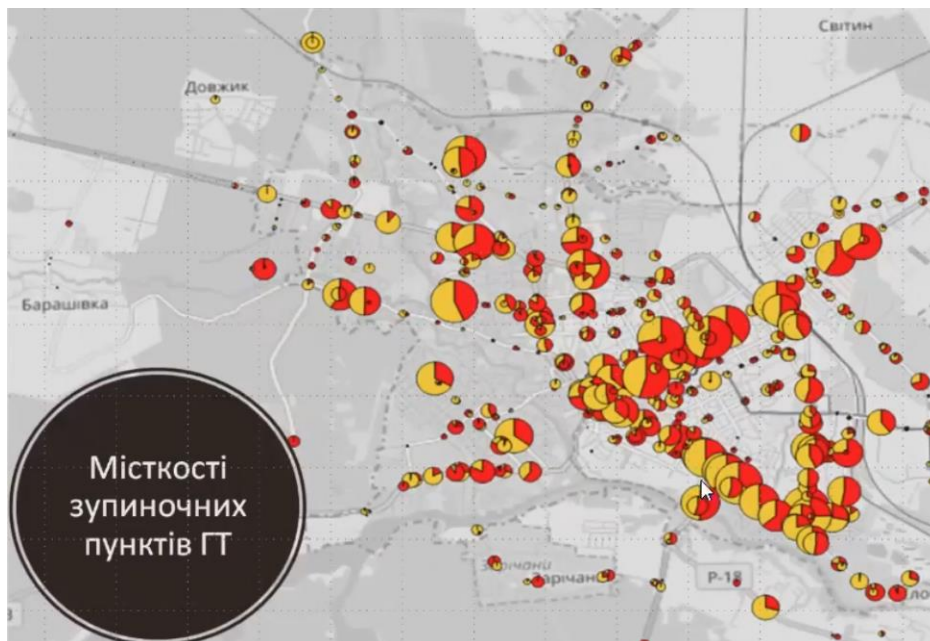


Рисунок 4.3.39 – Місткості зупинок громадського транспорту

На рис. 4.3.40. показано існуючу мережу громадського транспорту м. Житомир з урахуванням наявних систем транспорту. Тут червоним кольором представлено автобусні маршрути, синім – трамвайний маршрут, а коричневим – тролейбусні маршрути.

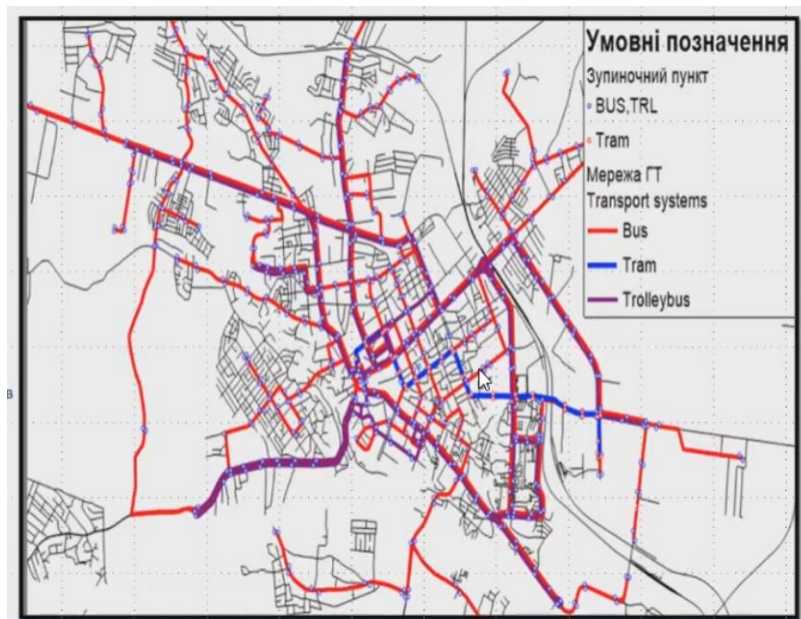


Рисунок 4.3.40 – Маршрутна мережа громадського транспорту м. Житомира

На рис. 4.3.41. представлено результати аналізу пасажиропотоків. А на рис. 4.3.42. – результати аналізу пасажиропотоків по транспортним системам.



Рисунок 4.3.41 – Розподіл пасажиропотоків

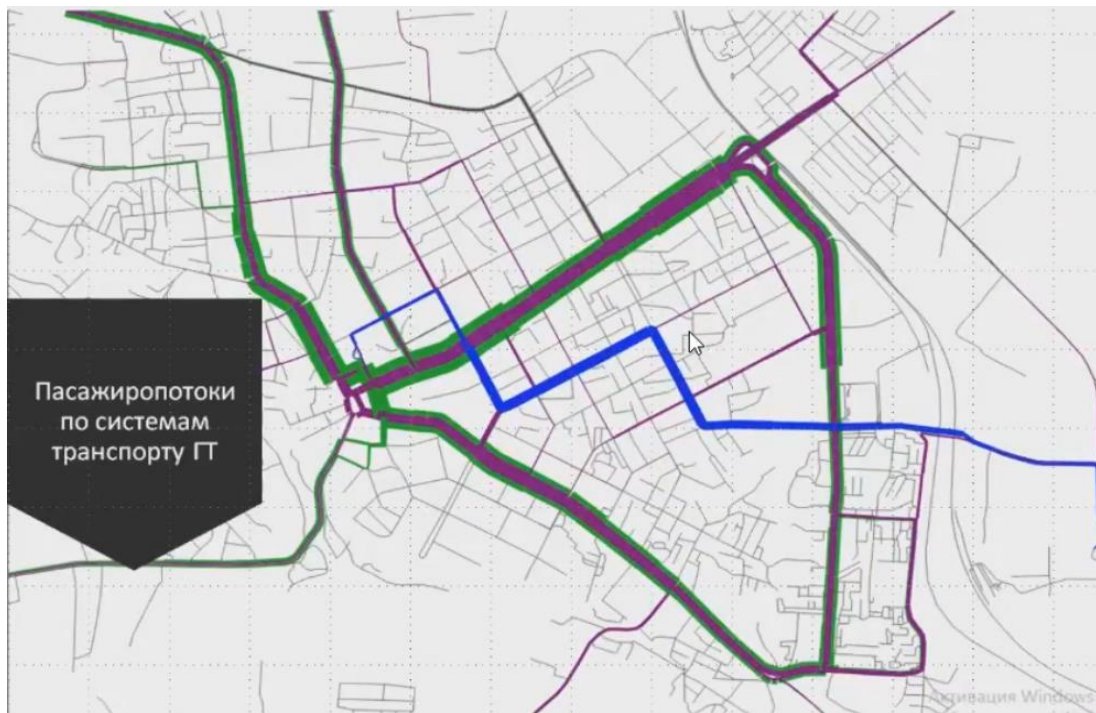


Рисунок 4.3.42 – Розподіл пасажиропотоків по транспортним системам

В результаті проведених модельних досліджень, можна зробити висновки, що найбільша інтенсивність пасажиропотоків спостерігається у центральній частині міста. Такий же висновок можна зробити і про інтенсивність транспортних потоків. З урахуванням обмеженої пропускної здатності центральних вулиць міста, а також через не впорядковане паркування у центральній частині міста, тут спостерігається перенасичення транспортних і пасажиропотоків, що і призводить до наявних транспортних проблем.

Одним із варіантів вирішення даної ситуації може бути зміна маршрутної мережі громадського транспорту таким чином, щоб максимально виключити дублювання маршрутів. На нашу думку це зменшить транспортне навантаження на центральну частину міста та дозволить більш рівномірно розподілити транспортні потоки. Правда такі рішення вимагатимуть не лише реорганізації маршрутної мережі а і впровадження ряду організаційних заходів, таких як впровадження єдиних електронних квитків та розробки графіків руху з урахуванням пересадок. З боку перевізників, у свою чергу, вимагатиметься чітке дотримання цих графіків руху.

Питання для самоконтролю

1. Що розуміють під поняттям «дорожній рух»?
2. Що розуміють під поняттям «управління дорожнім рухом»?
3. Що є об'єктом управління системи ДУ-ТП?
4. Що основою оптимального управління системи ДУ-ТП?
5. Якими є основні характеристики кількості та якості ТП?
6. Що таке основна діаграма ТП, які показники можуть визначатись за результатами її аналізу?
7. Для вирішення яких практичних задач УДР застосовуються відомості про часові інтервали між ТЗ?
8. Яким є основні задачі моніторингу ДР в містах?
9. Наведіть приклади сучасних систем та пристроїв, які забезпечують автоматичний збір даних про характеристики ТП та їх статистичну обробку.
10. Як класифікують міські розв'язки на одному рівні (перехрестя) за організацією та інтенсивністю руху згідно ДБН В.2.3-5: 2018?
11. Якими є основні переваги кільцевих розв'язок на одному рівні?
12. Якими є основні практичні заходи для облаштування каналізованих перехресть та відповідного спрощення схем руху?
13. Якими є особливості методики оцінки якості руху на перехрестях міст Німеччини?
14. Як класифікуються транспортні розв'язки вулиць і доріг на різних рівнях згідно ДБН В.2.3-5: 2018?
15. Якими є особливості пішохідного руху та його основні характеристики?
16. Якою може бути організація пішохідного руху при плануванні території міського центру з точки зору зв'язків між ним та транспортним рухом?
17. Якими є вимоги щодо облаштування тротуарів з урахуванням принципів сталої міської мобільності?
18. Якими є загальні вимоги та рекомендації щодо організації нерегульованих пішохідних переходів в Німеччині?
19. Якими є основні способи корекції тривалості елементів циклу СФР з урахуванням наявності в одній фазі дозвільних сигналів для руху ТЗ та пішоходів?
20. Які практичні заходи інженерно-планувального та організаційного характеру застосовуються для підвищення безпеки руху пішоходів в містах Європи?
21. Що розуміють під «інтермодальністю (co-modality)» та якими є її основні концептуальні засади?
22. Якими є основні задачі організації велосипедного руху в місті?

23. Якими є основні елементи велосипедної інфраструктури в містах?
24. Як визначають такі елементи як «захисна смуга», «велосипедна смуга», «велосипедна доріжка» згідно рекомендацій ERA 2010?
25. За яких умов, згідно рекомендацій ERA 2010, організація спільної вело-пішохідної доріжки в містах є недоцільною?
26. Якими є основні вимоги до перехресть з точки зору ефективності організації велосипедного руху в містах згідно рекомендацій ERA 2010?
27. У чому різниця здійснення лівоповоротного велоруху на перехрестях в один та у два прийоми ?
28. Якими є основні вимоги БР щодо планування та управління на регульованих перехрестях міських вулиць з велосипедним рухом згідно рекомендацій ERA 2010?
29. Якими є основні форми СФР велосипедного руху в містах згідно з рекомендацій ERA 2010?
30. Що розуміють під «мобільністю» та «сталюю мобільністю»?
31. Що розуміють під «маломобільними групами населення» та кого відносять до цієї категорії?
32. Якими є основні фактори, що збільшують ризик дорожньо-транспортного травматизму в містах для пішоходів похилого віку та людей з обмеженими можливостями здоров'я?
33. Які додаткові планувальні та організаційні заходи застосовуються для поліпшення мобільності літніх пішоходів та осіб з обмеженими можливостями здоров'я в сучасних містах?
34. Що відносять до засобів орієнтації та інформаційної підтримки на шляхах пересування маломобільних груп населення в містах?
35. Навіщо потрібні тактильні системи та для вирішення яких задач поліпшення інформування осіб з порушенням зору вони застосовуються?
36. Які планувальні та організаційні заходи для удосконалення організації руху дітей застосовуються в сучасних містах?
37. Якими є складові інженерно-технічного підходу до управління швидкістю ТЗ в сучасних містах?
38. Якими є основні планувальні та організаційні заходи, спрямованих на обмеження швидкості руху АТЗ в місцях пересування маломобільних груп міського населення?
39. Якими є загальні особливості сучасного стану ТС найбільших міст України?
40. В чому полягають особливості (проблеми) процесу паркування АТЗ у центральних частинах значних та найзначніших міст ?
41. Що розуміють під постійним та тимчасовим перебування автомобілів на стоянці (паркінгу)?

42. Як розрізняють вуличні автостоянки в залежності від режиму їх роботи ?
43. Що таке «блакитні зони» організації вуличних автостоянок в центральних частинах міст?
44. Якими є основні планувальні характеристики автостоянок та від чого вони залежать?
45. Якими є загальні вимоги до розміщення і планування вуличних автостоянок?
46. В чому особливості реалізації підходу, що розглядає використання автомобільних стоянок як інженерно-планувальний захід ОДР?
47. В чому особливості та переваги організації перехоплюючих автостоянок (систем паркування «Park&Ride») в сучасних містах?
48. Якими є основні принципи проектування перехоплюючих автостоянок?
49. Якими є основні принципи транспортної політики в містах, зручних для життя?
50. Якими є практичні наслідки реалізації транспортної політики в містах, зручних для життя (на прикладі міст США)?
51. Які практичні заходи найчастіше застосовують для організації єдиного паркувального простору в містах Західної Європи?
52. Якими є приклади найкращої практики реалізації паркувальної політики в передових європейських містах ?
53. За рахунок яких методів ціноутворення реалізується успішна паркувальна політика в сучасних містах?
54. Якими є особливості управління процесами паркування в сучасних містах?
55. Які технічні засоби та технології ІТС застосовуються для більш ефективного управління паркуванням в сучасних містах?
56. Що розуміють під «екологічною безпекою» та які види діяльності здійснюють для її забезпечення?
57. Якими є основні етапи та переваги проходження сертифікації ISO 14001 при створенні систем екологічного менеджменту для міст?
58. Як формується нормативно-правова база ЄС в сфері нормування шкідливих викидів АТЗ?
59. Норми викидів яких основних забруднювачів, що утворюються при роботі двигунів АТЗ, визначені Регламентами ЄС?
60. В чому особливості стандарту шкідливих викидів Euro 6D ISC-FCM, що застосовується в ЄС з 1 січня 2021 року ?
61. Які основні технології визначення (вимірювання) шкідливих викидів від пересування АТЗ застосовуються в системах екологічного моніторингу (контролю) забруднення атмосферного повітря?
62. Якими є принцип дії портативних систем PEMS та особливості їх застосування для екологічного моніторингу ДР?

63. Якими є принцип дії систем дистанційного зондування та особливості їх застосування для екологічного моніторингу ДР?
64. Як види інформації визначається за результатами функціонування сучасних систем дистанційного зондування для екологічного моніторингу ДР?
65. Чому саме системи дистанційного зондування шкідливих викидів АТЗ застосовуються в підсистемах екологічного моніторингу в складі ІТС.
66. Як в процесі моделювання в програмному комплексі PTV Vision® VISSIM формується модель поведінки водія?
67. Якими параметрами характеризується поведінка водія при слідуванні за ТЗ, що рухається попереду?
68. Які параметри впливають на поведінку водія ТЗ при зміні смуги руху?
69. Які параметри характерні для поведінки водія по відношенню до ТЗ, який рухається збоку?
70. Яка реакція водія спостерігається на перемикання сигналів світлосигнальних установок?
71. Як формується залежність розрахованих значень дистанції безпеки від швидкості тих ТЗ, що взаємодіють?
72. Яку модель рекомендовано до використовувати при моделюванні руху транспортних потоків в межах міста та які її параметри?
73. Яка модель використана для імітації руху ТЗ по дорогах поза населеними пунктами в PTV Vision® VISSIM?
74. Від яких параметрів залежить значення дистанції безпеки на автомагістралях?
75. Як значення наблизити до розрахованих і досліджуваних значеннях дистанції безпеки при моделюванні динаміки транспортного потоку в програмному середовищі PTV Vision® VISSIM?
76. Наведіть рівняння та поясніть закон збереження транспортного потоку.
77. Наведіть рівняння та поясніть моделі Гріншїлдса і Грінберга
78. Наведіть рівняння моделі Лайтхілла-Уїзема. Поясніть принцип застосування теорії кінематичних хвиль до моделювання транспортних потоків.
79. Поясніть фундаментальну діаграму транспортного потоку.
80. Поясніть стохастичну модель формування черги на перехресті.
81. Наведіть та поясніть діаграму фазових станів транспортного потоку на багаторядних магістралях.
82. Назвіть основні причини утворення заторів.
83. Назвіть основні етапи створення транспортної моделі у середовищі PTV Visum.

Список рекомендованої літератури:

1. Системологія на транспорті. У 5 кн. Кн. 4. Організація дорожнього руху / Гаврилов Е.В. та ін. ; за заг. ред. М.Ф. Дмитриченка. К. : Знання України, 2006. 452 с.
2. Поліщук В.П., Дзюба О.П. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху. К. : Знання України, 2008. 175 с.
3. Деменчук В., Янішевський С. Дослідження розподілу часових інтервалів у транспортному потоці на багатосмуговій автомобільній дорозі. *Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв'язання* : Тези доповідей II Всеукр. наук.-теорет. конф., 16–18 берез. 2017 р. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2017. С. 79–82.
4. Єресов В.І., Григор'єва О.В. Телематичне управління дорожнім рухом : навч. посіб. К. : НТУ, 2017. 120 с.
5. **Citilog CT-TS**. URL: https://www.citilog.com/sites/default/files/learn_more_abt_product/Datasheet_Citilog_20_CT-TS.
6. The TMS-SA is a road traffic counter, autonomous, above-ground and mobile. URL: <https://icomsdetections.com/wp-content/uploads/2020/07/TMS-SA>.
7. ДБН В.2.3-5:2018. Державні будівельні норми України. Вулиці і дороги населених пунктів. Держбуд України, 2018.
8. ДСТУ 4092-2002. Безпека дорожнього руху. Світлофори дорожні. Загальні технічні вимоги, правила застосування та вимоги безпеки. [Чинний від 2002-06-03]. 31 с. (Національний стандарт України).
9. StB 11/7122/3/4–HBS-1740126. Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS) / Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Bohn. 26.08.2015.
10. Вукан Р. Вучик. Транспорт в городах, удобных для жизни / пер.с. англ. М. : Территория будущего, 2011. 414 с.
11. Mobilität-in-Deutschland. *Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)*. URL: <https://www.bmvi.de>
12. Реконструкция и обновление сложившейся застройки города : учебное пособие для вузов / под общей ред. П.Г. Грабового и В.А. Харитоновой. М. : Изд-ва «АСВ» и «Реалпроект», 2006. 624 с.
13. ДБН Б.2.2-12:2019. Державні будівельні норми України. Планування та забудова територій. Держбуд України, 2019.
14. [8 Principles to Better Sidewalks](https://thecityfix.com/blog/8-principles-better-sidewalks-hillary-smith-paula-manoela-dos-santos). *World Resources Institute Ross Center*. URL: <https://thecityfix.com/blog/8-principles-better-sidewalks-hillary-smith-paula-manoela-dos-santos>.
15. Richtlinien für die Anlage und Ausstattung von Fußgängerüberwegen (R-FGÜ

- 2001). URL: <https://docplayer.org>.
16. Управління дорожнім рухом на регульованих перехрестях у містах / Форнальчик Є.Ю., Могила І.А., Трушевський В.Е., Гілевич В.В. ; за заг. ред Є.Ю. Форнальчика. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2018. 236 с.
 17. Технічні засоби обмеження швидкості автомобілів. *Платформа розвитку міст*. URL: <http://urbanua.org>.
 18. [Schuyler Null, Anna Bray Sharpin, Paula Tanscheit](#) *6 Road Design Changes That Can Save Lives*. *World Resources Institute Ross Center*. 2018. URL: <https://thecityfix.com/blog>.
 19. ДСТУ 4123:2020. Безпека дорожнього руху. Засоби заспокоєння руху. Загальні технічні вимоги. [Чинний від 2020-11-01]. 15 с. (Національний стандарт України).
 20. Руководство по устойчивой городской мобильности и территориальному планированию. Содействие активной мобильности. ЕЭК ООН. Geneva : Layout and Printing at United Nations, 2020. 222 с.
 21. Клинковштейн Г.И., Афанасьев М.Б. Организация дорожного движения. М. : Транспорт, 2001. 247с.
 22. Рекомендації з організації руху велосипедного транспорту (Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA2010)). Переклад та друк матеріалу виконано в рамках проектів Німецького товариства міжнародного співробітництва (GIZ) та з дозволу Науково-дослідницького товариства доріг і транспорту, м. Кельн, Німеччина (FGSV). URL: www.fgsv-verlag.de.
 23. Straßenverkehrs-Ordnung (StVO) (Правила дорожнього руху). URL: <https://bundesgesetzblatt.de>, de.wikipedia.org/wiki/Bildtafel_der_Verkehrszzeichen_in_Deutschland.
 24. Про регулювання містобудівної діяльності : Закон України № 34 / *ВВР*. 2011. URL: <https://zakon.rada.gov.ua>.
 25. Цілі сталого розвитку. Представництво ООН в Україні. URL: <http://www.un.org.ua>.
 26. Mobility data across the EU 28 member states: results from an extensive CAWI survey / Davide Fiorello et al. *Transportation Research Procedia*. 2016. Vol. 14. P. 1104–1113
 27. Про результати базового дослідження ситуації у сфері сталої місцевої мобільності в об'єднаних територіальних громадах України : Аналітичний звіт за результатами стартового етапу проекту «Підтримка та розвиток сталої мобільності в об'єднаних територіальних громадах». Німецьке товариство міжнародної співпраці (GIZ). К., 2019. 36 с.

28. Pedestrian safety: a road safety manual for decision-makers and practitioners : Handbook / World Health Organization, FIA Foundation for the Automobile and Society, Global Road Safety Partnership, World Bank. 2013.
29. ДБН В.2.2-40:2018. Державні будівельні норми України. Будинки і споруди. Інклюзивність будівель і споруд. К. : Мінрегіонбуд, 2018.
30. Nonfatal injuries among US children with disabling conditions / Xiang H.Y. et al. *American Journal of Public Health*. 2005. Vol. 95. P. 1970–1975.
31. Roberts I., Norton R. Sensory deficit and the risk of pedestrian injury. *Injury Prevention*. 1995. Vol. 1. P. 12–14.
32. Що робить місто, дружнє до дітей? Перепроекування безпечних та здорових міських просторів для молоді. URL: <https://thecityfix.com>.
33. Whitelegg J. Quality of life and public management: redefining development in the local environment. Oxon, Routledge, 2012
34. Retting R., Ferguson S., McCartt A. A review of evidence-based traffic engineering measures designed to reduce pedestrian–motor vehicle crashes. *American Journal of Public Health*. 2003. Vol. 93. P. 1456–1463.
35. Vanderschuren M., Jobanputra R. Traffic calming measures: review and analysis. Cape Town : African Centre of Excellence for Studies in Public and Non-motorized Transport, 2009.
36. ДСТУ 4100:2014. Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосування. [Чинний від 2015-07-01]. 106 с. (Національний стандарт України).
37. ДСТУ 2587:2010. Розмітка дорожня. Технічні вимоги. Методи контролю. Правила застосування. [Чинний від 2010–12–27]. 39 с. (Національний стандарт України).
38. ДСТУ 4036-2001. Безпека дорожнього руху. Вставки розмічальні дорожні. Загальні технічні умови. [Чинний від 2001–06–27]. 17 с. (Національний стандарт України).
39. ДБН В.2.3-15:2007. Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Автостоянки і гаражі для легкових автомобілів. К. : Мінбуд України, 2007. 37 с.
40. Поліщук В.П., Красильнікова О.В., Дзюба О.П. Транспортне планування міст / за заг. ред. В.П. Поліщука. К. : Знання України, 2013. 317 с.
41. Park and ride – politics, policy and planning. Town and Country Planning Association. 2010.
42. Менделев Г.А. Транспорт в планировке городов : учебное пособие. МАДИ (ГТУ). М., 2005. 135 с.
43. Паркування P+R (Park&Ride): Парковки в Європі. URL: <https://travelyourway.com.ua/ua>.

44. Генеральний план м. Києва. Інтенсивність руху транспорту на в'їздах в м. Київ. URL: <https://www.facebook.com/genplankieva>
45. Поліщук В.П., Янішевський С.В., Гуменюк О.В. Організація перехоплюючих автостоянок (система паркування «PARK&RIDE») в м. Києві. *Вісник Національного транспортного університету. Сер. Технічні науки* : науково-технічний збірник. К. : НТУ, 2020. Вип. 6 (46). С. 264–274. URL: <http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/46/264.pdf>.
46. Галабурда В.Г. Единая транспортная система. М. : Транспорт, 1996. 295 с.
47. Парковка в Нью-Йорке самая дорогая среди крупных городов США. URL: <https://usa.one/2018/04>.
48. Охорона довкілля. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki>.
49. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України зі змін і допов. *Відомості Верховної Ради України*. 1991. № 41 ст. 546. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12>.
50. Екологічна безпека. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki>.
51. Srinivas Hari Cities, EMS and Everything. *Urban Environmental Management. Continuing Research Series E-015*. March 2015. URL: <http://www.gdrc.org/uem/iso14001/index.html>.
52. Regulation (EC) № 715/2007 of the European Parliament and of the Council of 20 June 2007 on type approval of motor vehicles with respect to emissions from light passenger and commercial vehicles (Euro 5 and Euro 6). URL: <https://www.legislation.gov.uk/eur/2007/715>.
53. European Emission Standards. URL: <https://landtransportguru.net>.
54. EU: Cars and Light Trucks. Emission Standards. URL: <https://dieselnet.com/standards/eu/ld.php>.
55. Road transport: Reducing CO2 emissions from vehicles. Official website of the European Union. URL: <https://ec.europa.eu/clima/policies/transport>
56. Michał Nowak, Dominik Wałkowski, Szymon Kubiak The new emission standard Euro 6D ISC-FCM. February 24 2021. URL: <https://www.lexology.com/library/detail.aspx>
57. Bell Margaret Environmental factors in intelligent transport systems. *Intelligent Transport Systems. IEE Proceedings*. 2006. Vol. 153. P. 113–128. DOI: 10.1049/ip-its:20060017.
58. Karoń G., Mikulski J. Transportation Systems Modelling as Planning, Organisation and Management for Solutions Created with ITS. *CCIS*. Vol. 239. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 2011.

59. Firas Alrawi The importance of intelligent transport systems in the preservation of the environment and reduction of harmful gases. *Transportation Research Procedia*. Vol. 24. 2017. P. 197–203. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.05.108.
60. Małeckı Krzysztof, Iwan Stanislaw, Kijewska Kinga Influence of Intelligent Transportation Systems on Reduction of the Environmental Negative Impact of Urban Freight Transport Based on Szczecin Example. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2014. Vol. 151. P. 215–229. DOI: 10.1016/j.sbspro.2014.10.021.
61. Use of remote-sensing technology for vehicle emissions monitoring and control. *The International Council on Clean Transportation*. December 2018. URL: <https://theicct.org/sites/default/files/publications>.
62. Daganzo C.F. Remarks on Traffic Flow Modeling and its Applications. Dept. Of Civil and Environmental Engineering University of California. Berkeley.
63. Nagel K., Wagner R., Woesler R. Still flowing: Approaches to traffic flow and traffic jam modeling. January 2, 2003.
64. Nagel K. Particle hopping models and traffic flow theory. Los Alamos National Laboratory. 1995.
65. Kerner B.S., Rehborn H. Experimental Features and characteristics of traffic jams. *Physical Review E*. 1996. Vol. 53, № 2: R1297-R1300.
66. Kerner B.S., Konhauser P. *Physical Review E*. 1993. Vol. 48; 1994. Vol. 50.
67. Nagel K., Schreckenberg M. A cellular automation model for freeway traffic. *Journal de Physique I*. France, 1992. Vol. 2. P. 2221–2229.
68. Kuhne R.D., Beckschulte R. Proceedings of 12th International Symposium on the Theory of Traffic Flow and Transportation. in C.F. Daganzo (ed.). Amsterdam : Elsevier, 1993. 367 p.
69. Static and Dynamic Traffic Assignment with Recurrent Neural Networks / Paul Mathias, Siemens AG, ATD SV PSM, Minich, and Department of Computer Science 4, Aachen University of Technology.
70. Kerner B.S., Rehborn H. *Physical Review E*. 1996. Vol. 53.
71. Traffic Jam Dynamics in Traffic Flow Models : STRC 03 Conference paper. *3rd Swiss Transport Research Conference*. Monte Verita / Ascona, March 19–21, 2003.
72. Kuhne R.D., Beckschulte R. Non-linearity Stochastics of Unstable Traffic Flow, Transportation and Traffic Theory. *Proceedings of the 12th International Symposium on the Theory of Traffic Flow and Transportation*. USA, California, Berkeley, 21–23 July, 1993.
73. Krug J., Spohn H. *Physical Review A*. Vol. 83. P. 4271.
74. Binder P.M., Paczuski M., Barma M. *Physical Review E*. Vol. 49. P. 1174.
75. Kerner B.S. Three-Phase Traffic Theory and Highway Capacity. 2002.

76. Sipress A. Studying the ebb and flow of stop-and-go. Los Alamos Lab Using Cold War Tools to Scrutinize Traffic Patterns. 1999. URL: www.science.com.
77. Lighthill M.J., Whitham F.R.S. On kinetic waves II. A theory of traffic flow on crowded roads. *Proc. Of the Royal Society. Ser. A.* 1995. Vol. 229. P. 317–345.
78. Клинковштейн Г.И., Афанасьев М.Б. Организация дорожного движения : учебник. Изд. 5-е, перераб. и доп. М. : Транспорт, 2001. 247 с.
79. Якимов М.Р., Арепьева А.А. Транспортное планирование. Особенности моделирования транспортных потоков в крупных российских городах : монография. М. : Логос, 2016. 280 с.
80. ДСТУ 3649:2010. Колісні транспортні засоби (33994). Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання. Київ : Держспоживстандарт України, 2011.
81. Правила № 13-Н ООН. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения легковых автомобилей в отношении торможения.
82. VISSIM 5.30. Руководство пользователя. СПб. : А+С Консалт, 2011.
83. Chowdhury D., Santen L., Schadschneider A. Statistical physics of vehicular traffic and some related systems. *Phys. Rep.* 2000. Vol. 329. P. 199–329.
84. Якимов М.Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов. М. : Логос, 2013.
- VISUM 12.5 Fundamentals, VISUM 12.5 Manual, 2012 PTV AG. Karlsruhe.

Ключові слова

Міський вантажний транспорт
Міська логістика
Категорії міських територій
Конфлікт МВТ
Система управління пасажирським транспортом
Система управління вантажним транспортом
Система слідкування та відстеження
Електронний збір оплати
Планувальник поїздок
Особистий консультант пасажирів
Інтелектуальні транспортні системи
Інформаційно-комунікаційні технології
Керівництво з вибору маршруту
Ідентифікація транспортних засобів
Електронний квиток
Розподільча логістика
Міська логістика
Сталий розвиток логістики
Попит кінцевих споживачів
Оптимального обсягу замовлення
Добовий обсяг замовлення
Матриця вірогідності
Вірогідність відвідування роздрібного торговця
In-store logistics
Витрати на просування вантажу
Торгівельна зона
Генерелізовані витрати кінцевих споживачів
Мікромоделювання
Маршрутизація
Безпека руху
Розумний транспорт
Дорожній рух
Системи контролю швидкості руху
Інтелектуальні системи безпеки руху
Системи паркування автомобілів
Системи інформування водіїв
Системи навігації
Датчики відстеження параметрів руху транспортних засобів
Локальне керування рухом
Магістральне керування рухом
Мережне керування рухом

Обмеження швидкості руху
Система глобального позиціонування
Вибір маршрутів руху
Точність позиціонування
Мобільні картографічні системи
Базова станція
Види переміщення міською територією
Генерування попиту
Індукований попит
Маршрутна мережа
Матриця кореспонденцій
Метод Вінтерса
Моделювання попиту
Прогнозування пасажиропотоків
Розподіл попиту
Системи транспорту
Транспортна модель території
Управління попитом на транспортні послуги
Чотириетапна модель транспортного планування
Міський вантажний транспорт
Міська логістика
Зацікавлені особи
Категорії міських територій
Конфлікт МВТ
Ефективність транспортних систем.
Соціальна ефективність
Економічна ефективність
Екологічна ефективність
Дорожній рух (ДР)
Організація ДР
Управління ДР
Дорожні умови
Транспортні потоки
Система ДУ – ТП
Моніторинг ДР
Розв'язки на одному рівні (перехрестя)
Оцінка якості руху на перехрестях
Розв'язки на різних рівнях
Пішохідний рух
Стала міська мобільність
Тротуари
Пішохідні переходи

Безпека руху пішоходів
Інтермодальність (co-modality)
Велосипедний рух
Велосипедна інфраструктура
Рекомендації ERA 2010
Маломобільні групи населення
Пішоходи похилого віку
Особи з обмеженими можливостями здоров'я
Тактильні системи інформування
Заходи обмеження швидкості руху АТЗ
Автостоянки (парковки)
Процес паркування АТЗ
Вуличні автостоянки
Позавуличні автостоянки (паркінги)
Перехоплюючі автостоянки
Системи паркування «Park&Ride»
Міста, зручні для життя
Паркувальна політика
Єдиний паркувальний простір
Екологічна безпека
Екологічний менеджмент
Сертифікація ISO 14001
Шкідливі викиди АТЗ
Норми викидів
Регламент ЄС
Стандарт Euro 6D ISC-FCM
Системи екологічного моніторингу
Дистанційне зондування
Математична модель
Модель транспортного потоку
Фундаментальна діаграма транспортного потоку
Фазові стани
Гідродинамічні моделі
Стохастичні моделі
Транспортні затори
Транспортна модель
Поведінка водія
Транспортний потік
Дистанція безпеки
Швидкість руху
Сповільнення транспортного засобу
Модель Відемана
Параметри моделі руху
Відеоспостереження за транспортним потоком

Навчальне видання

Розумний транспорт і логістика для міст

Навчальний посібник

Технічне редагування – Леонець І.В.

Ум. друк. арк. 71,15. Підп. до друку 20.07.2021 р. Формат 60x84 ¹/₈.
Гарнітура «Times New Roman». Папір офс. Наклад 100 пр.

Виготовлено з оригінал-макету у редакційно-видавничому секторі
Адреса: Державний університет «Житомирська політехніка»,
вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, 10005
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи № 7177 від 04.11.2020 р.

