

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Транспортний
(повне найменування факультету)

«Транспортні технології»
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

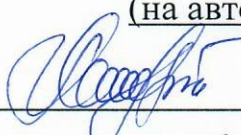
магістра
(ступінь вищої освіти)

на тему АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ІСНУЮЧИХ
МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ РУХУ АВТОМОБІЛІВ В УМОВАХ
СУЧАСНИХ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ

Виконала: студентка ІІ курсу, групи Тз-313м

Спеціальності 275 «Транспортні технології
(за видами)»
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
275.03 «Транспортні технології
(на автомобільному транспорті)»

		Наталія МИХАЙЛЕНКО (прізвище та ініціали)
Керівник		Олексій КОТОВ (прізвище та ініціали)
Рецензент		Олександр АРТЮХ (прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет _____ Транспортний
Кафедра _____ «Транспортні технології»
Ступінь вищої освіти _____ магістр
Спеціальність _____ 275 «Транспортні технології (за видами)»
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) 275.03 «Транспортні технології (на
автомобільному транспорті)»
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«Транспортні технології»

Сергій ТУРПАК

«01» листопада 2024 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

МИХАЙЛЕНКО Наталії Анатоліївни

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Аналіз можливості використання існуючих математичних моделей руху автомобілів в умовах сучасних транспортних потоків

керівник проєкту (роботи) д-р. техн. наук, проф. КОТОВ Олексій Борисович
(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «26» листопада 2024 року №487

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 16 грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) існуючі математичні моделі які використовуються для опису транспортних потоків, існуючі характеристики транспортних та пішохідних потоків, статистичні дані розподілу швидкості руху легкових і вантажних автомобілів, автобусів

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналітична частина, 2. Розрахункова частина, 2.1 Організація і проведення дослідження складу сучасного транспортного потоку, 2.2 Дослідження швидкості вільного руху характерних автомобілів, 2.2.1 Основні характеристики характерних автомобілів, 2.2.2 Організація і проведення дослідження швидкостей руху, 2.2.3 Обробка отриманих результатів вимірювання швидкостей, 2.2.4 Математичне моделювання параметрів транспортного потоку для сучасних умов, 3. Економічна частина, 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів)

Презентація магістерської роботи

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	КОТОВ О.Б., професор		
2	КОТОВ О.Б., професор		
3	ХАРЧЕНКО Т.В., старш. викл.		
4	ЛАЗУТКІН М.І., доцент		

7. Дата видачі завдання «01» листопада 2024 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

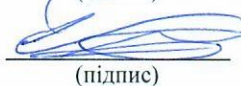
№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Аналітична частина	28.10.2024-10.11.2024	
2	Основна частина	11.11.2024-15.12.2024	
3	Економічна частина	16.12.2024-29.12.2024	
4	Охорона праці	20.01.2025-26.01.2025	
5	Оформлення МР, перевірка МР на плагіат, отримання зовнішніх рецензій, захист магістерських робіт	27.01.2025-05.02.2025	

Студент(ка)


(підпис)

Наталія МИХАЙЛЕНКО
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)


(підпис)

Олексій КОТОВ
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 105 стор., 29 табл., 59 рис., 10 використаних джерел.

ВІРОГІДНІСТЬ, ДОРОЖНІЙ РУХ, ДОСЛІДЖЕННЯ ДОРОЖНЬОГО РУХУ, ЗАКОН РОЗПОДІЛУ, ІНТЕНСИВНІСТЬ РУХУ, МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, СКЛАД ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ, СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ, ТРАНСПОРТНИЙ ПОТІК, ШВИДКІСТЬ РУХУ

Об'єкт дослідження: математичні моделі, які використовуються для опису руху транспортного потоку.

Мета роботи: визначити достовірність існуючих математичних моделей сучасному стану транспортних потоків.

Методи дослідження: розрахунковий, аналітичний, комп'ютерне моделювання.

В даній магістерській роботі було проведено аналіз існуючих математичних моделей залежності основних характеристик транспортного потоку. Але з часу виведених залежностей транспортний потік перетерпів значні зміни, які призвели до збільшення швидкості руху усіх типів транспортних засобів, а відповідно й усього транспортного потоку.

Тому в представленій роботі на основі зібраних статистичних даних були отримані розподіли швидкості руху характерних легкових і вантажних автомобілів та автобусів, зроблено порівняння з тими даними, на яких базувалися існуючі математичні моделі, зроблені загальні висновки щодо використання розглянутих математичних моделей.

ЗМІСТ

	с.
Завдання на магістерську роботу.....	2
Реферат.....	4
Вступ.....	7
1 Аналітична частина.....	8
1.1 Транспортний потік та його моделі.....	8
1.2 Теорії руху потоків автомобілів.....	10
1.3 Загальна оцінка моделей руху потоків автомобілів.....	18
1.4 Моделювання руху та склад транспортного потоку.....	22
1.4.1 Вплив інтенсивності і складу руху на швидкість.....	22
1.4.2 Розподіл швидкості автомобілів.....	24
1.4.3 Проблема відповідності існуючих математичних моделей су- часним умовам руху.....	28
2 Розрахункова частина.....	30
2.1 Організація і проведення дослідження складу сучасного транспо- рного потоку.....	30
2.2 Дослідження швидкості вільного руху характерних автомобілів....	33
2.2.1 Основні характеристики характерних автомобілів.....	33
2.2.1.1 Характеристики типового легкового автомобілю.....	33
2.2.1.2 Характеристики типового вантажного автомобілю.....	34
2.2.1.3 Характеристики типового автобусу.....	36
2.2.2 Організація і проведення дослідження швидкостей руху.....	37
2.2.3 Обробка отриманих результатів вимірювання швидкостей.....	42
2.2.4 Математичне моделювання параметрів транспортного потоку для сучасних умов.....	50
2.2.4.1 Розподіл швидкості руху автомобілів.....	50
2.2.4.2 Рух окремих автомобілів у потоці.....	62

3 Економічна частина.....	75
3.1 Визначення середньої швидкості руху транспортних засобів.....	75
3.2 Визначення динамічного габариту автомобіля.....	75
3.3 Розрахунок пропускної спроможності дороги.....	76
3.4 Визначення вартості роботи транспортних засобів.....	78
4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	85
Висновки.....	87
Перелік джерел посилання.....	88
Додаток А.....	89
Додаток Б.....	96
Додаток В.....	97
Додаток Г.....	104

ВСТУП

Однією з вимог, що пред'являються до фахівців транспортних технологій і, зокрема, фахівців з організації дорожнього руху є глибокі знання в галузі закономірностей руху транспортного потоку по магістралям швидкісного руху та вулично-дорожній мережі міста.

Основи теоретичних методів, що описують ці закономірності, отримали спільну назву «теорія транспортного потоку». У виконаних наукових роботах даної тематики досліджені різноманітні характеристики транспортного потоку та їх взаємозв'язок. Останнім часом до вивчення закономірностей транспортного потоку приєдналося багато дослідників і з інших галузей науки: спеціалісти в галузі дослідження операцій, прикладної математики та психології. Але предмет дослідження спеціалістів з інших галузей науки не завжди співпадає з проблемами, з якими мають справу фахівці організації дорожнього руху. Їх перш за все цікавить застосування певних теоретичних методів та аналогій до визначення загальних характеристик транспортного потоку. Більш того, під час ознайомлення з результатами досліджень та публікацій спеціалістів з інших галузей науки, часто зустрічається невірна термінологія, невласливий тому чи іншому терміну зміст, а методології та математичні методи, що використовуються в цих дослідженнях, можуть бути усвідомлені спеціалістами з вищою математичною освітою.

Теорія транспортного потоку повинна бути ув'язана зі сферами діяльності фахівців в галузі організації дорожнього руху та можливостями її застосування для більш глибокого вивчення закономірностей процесів руху в різноманітних транспортних ситуаціях. Математичне моделювання є інструментом, що допомагає досягненню цієї мети. Проблеми використання математичних моделей стали предметом дослідження даної магістерської роботи.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Транспортний потік та його моделі

Рух потоку автомобілів є вельми складним процесом. Це пояснюється великим числом чинників, що впливають на характер руху автомобілів. До таких чинників відносяться: дорожні умови, інтенсивність і склад руху, психофізіологічні особливості водіїв, стан автомобілів, наявність засобів регулювання руху [1].

Сумісний вплив всіх цих чинників, який безперервно змінюється в часі і по довжині дороги, істотно ускладнює розуміння закономірностей руху потоку автомобілів і управління їм. Ці ускладнення ще більш посилюються участю в процесі руху потоку автомобілів людини, поведінку якої важко передбачити.

У цих умовах основним засобом рішення проблеми є використання методів моделювання (створення моделі), як способу вивчення процесу руху потоків автомобілів.

Модель є описом дійсного процесу, що ідеалізується. Модель повинна бути побудована так, щоб якомога точніше описувати поведінку реального процесу руху. Звичайно, при цьому не можна сподіватися на повну аналогію з дійсним процесом зважаючи на його крайню складність [2].

Існують два способи моделювання: фізичне і математичне.

Прикладами фізичного моделювання є вивчення сили опору повітря при різній формі кузова шляхом продування в аеродинамічній трубі моделі автомобіля або вивчення характеру розподілу напруги під дією навантаження в споруді або його вузлах поляризаційно-оптичним методом і т. ін. [2].

При такому моделюванні повинні зберігатися певні співвідношення подібності, які витікають з фізичних закономірностей природи явищ.

При математичному моделюванні описується співвідношення між най-

більш важливими змінними характеристиками процесу за допомогою формул, рівнянь і т. ін. Такі моделі, як правило, будуються на певних гіпотезах. Математичне моделювання виявляється найбільш успішним при моделюванні складних систем і процесів. Змінні характеристики можуть бути або детермінованими (що мають конкретні значення в певних умовах), або випадковими величинами [2].

При моделюванні руху потоків автомобілів важко використовувати фізичне моделювання зважаючи на різноманітність чинників, що впливають на рух потоку і важко піддаються моделюванню. Тому основним способом моделювання руху потоків автомобілів є математичне моделювання. При цьому, як вже наголошувалося, можуть мати місце: детерміновані моделі, коли вибрана математична модель (теоретична передумова) дозволяє точно обчислити зміну однієї змінної із зміною інших змінних, і імовірнісні (стохастичні) моделі, коли в процесі існують елементи випадковості і характеристики сукупності визначаються шляхом аналізу окремих вибірок [2].

В даний час існує велике число різноманітних математичних моделей руху потоків автомобілів.

Детерміновані моделі часто називають динамічними моделями, оскільки вони описують динаміку взаємодії між автомобілями і динаміку руху всього потоку автомобілів. При детермінованому моделюванні руху потоку автомобілів можна виділяти два підходи: мікроскопічний і макроскопічний. При цьому моделюється динаміка взаємодії: між окремими автомобілями (мікроскопічний підхід) і динаміка руху потоку в цілому (макроскопічний підхід) [3].

Прикладом мікроскопічного підходу є: спрощені динамічні моделі і теорія «слідування за лідером». На цих моделях вивчають закономірності, що існують усередині потоку між окремими автомобілями, а одержані висновки розповсюджуються на весь потік. Макроскопічний підхід використаний в гідродинамічних моделях, газовій моделі та ін. При цьому потік автомобілів розглядається як безперервний [3].

Детерміновані моделі дозволяють вирішувати достатньо широкий круг завдань, пов'язаних з оцінкою характеру руху потоку автомобілів, а також досліджувати пропускну спроможність доріг.

Стохастичні (імовірнісні) моделі дозволяють дати кількісну оцінку характеру руху потоків, в яких ще можлива свобода маневрування автомобілів.

Складність, а часто і неможливість експериментальної оцінки основних характеристик потоку автомобілів при різноманітності поєднання впливаючих чинників викликає необхідність використання математичного моделювання як основного способу рішення проблеми. При цьому вдається позбавитися громіздких експериментів, понизити трудомісткість експериментальних робіт і зробити їх економнішими.

Звісно, сучасне математичне моделювання тісно пов'язане із використанням комп'ютерної техніки.

На рисунку 1.1 наведена класифікація математичних моделей руху потоків автомобілів.

1.2 Теорії руху потоків автомобілів

Першими моделями, які були запропоновані для опису руху потоків автомобілів, були спрощені динамічні моделі. Ці моделі засновані на припущенні, що автомобілі рухаються в колоні з однаковою швидкістю на відстані, достатній для повної зупинки, без наїзду на попередній автомобіль, що йде.

Була розроблена велика кількість спрощених динамічних рівнянь, найповніша оцінка яких з позиції визначення пропускнуєї спроможності дана в роботах А.Е. Страментова, М.С. Фішельсона, В.А. Юдіна, Ю.С. Крилова і Л.А. Кероглу.

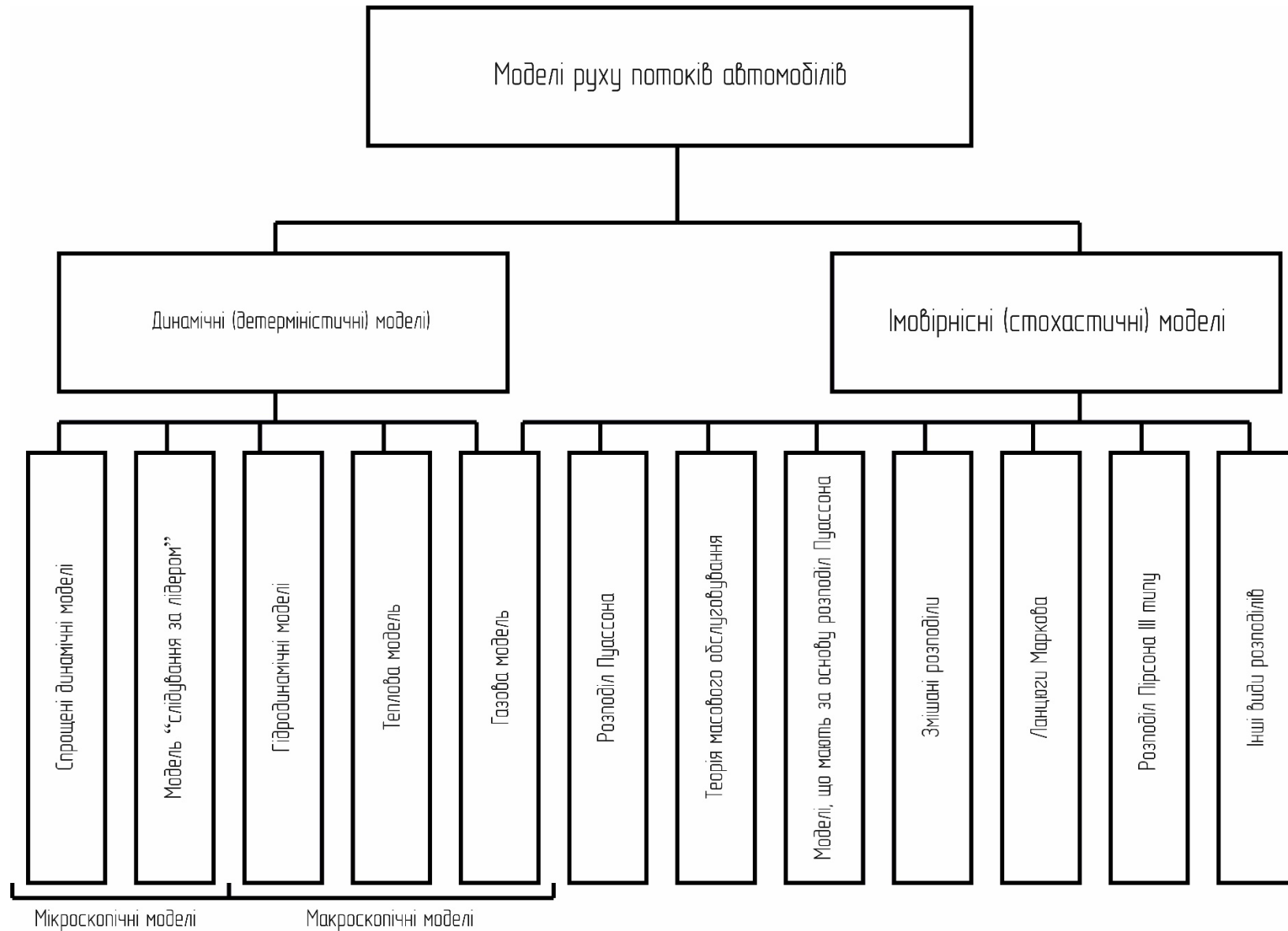
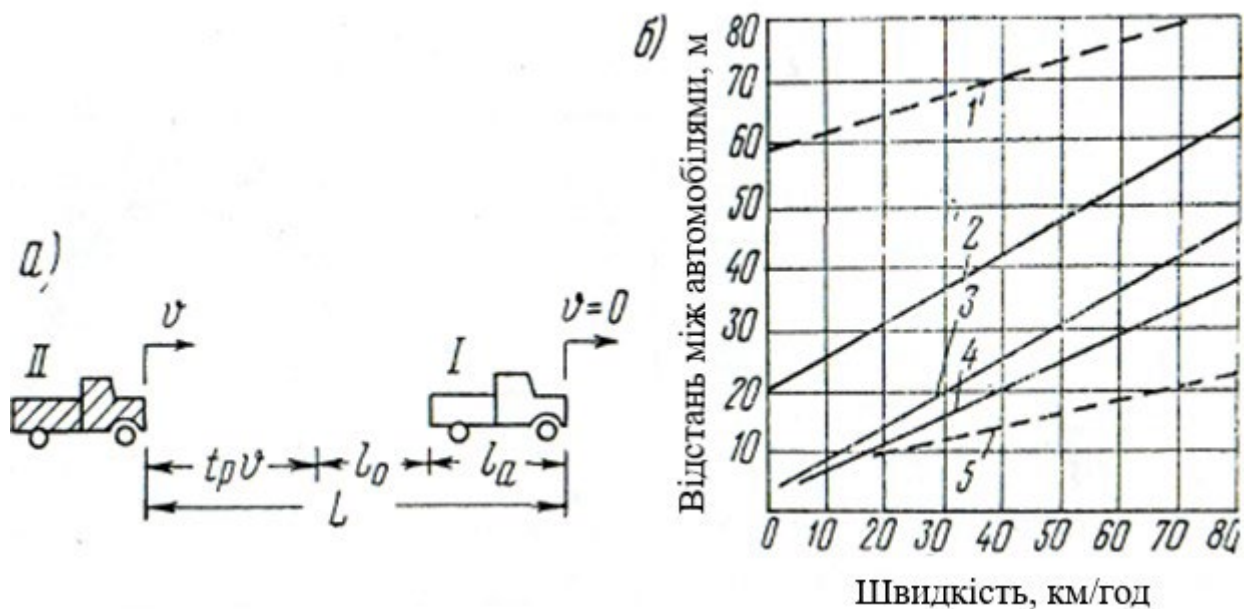


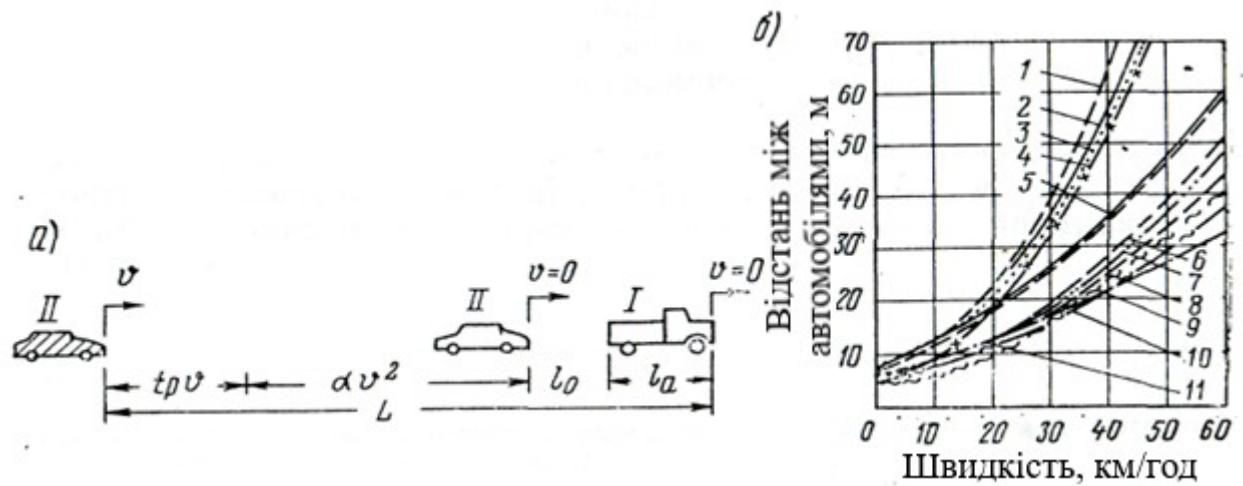
Рисунок 1.1 – Класифікація математичних моделей руху потоків автомобілів

Всі рівняння спрощеної динамічної моделі засновані на різних початкових передумовах, можна розділити на наступні групи: I група - рівняння, в яких не враховується гальмівний шлях (рис. 1.2); II група - рівняння, в яких враховується повний гальмівний шлях (рис. 1.3); III група - рівняння, в яких враховується різниця в гальмівних шляхах заднього і переднього автомобілів (рис. 1.4); IV група - рівняння, одержані в результаті статистичної обробки даних спостережень за зміною відстані між автомобілями при різних швидкостях руху [4].



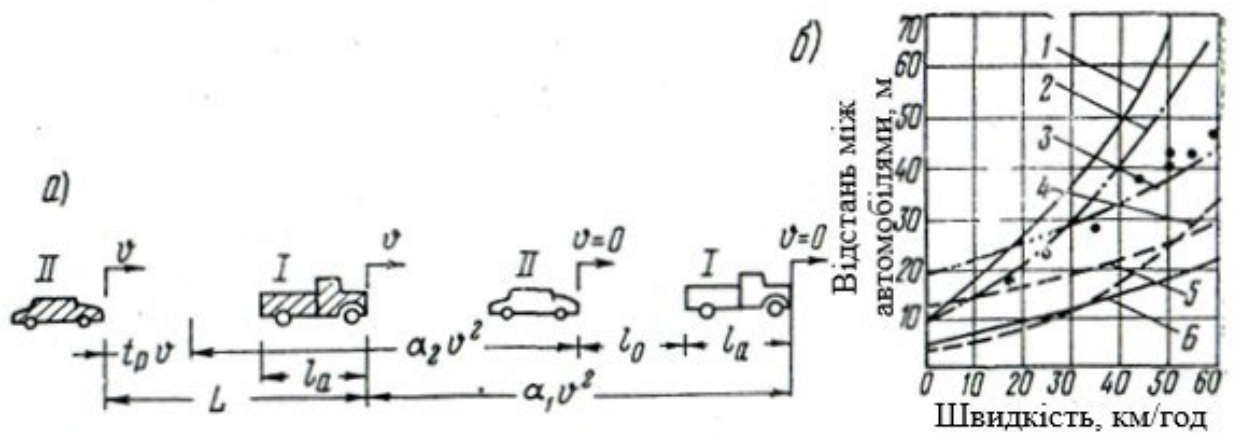
а) – розрахункова схема руху автомобілів; б) – залежність мінімальної відстані між автомобілями від швидкості руху за даними: 1- Гуревича; 2- Даденкова; 3- Швантера; 4- Іогансенна; 5- Гриншильдса

Рисунок 1.2 – Порівняльна оцінка результатів, що були отримані на основі спрощених динамічних рівнянь I групи [4]



а) – розрахункова схема руху автомобілів; б) – залежність мінімальної відстані між автомобілями від швидкості руху за даними: 1 - Страментова; 2 - Шаара; 3 - Алиссона; 4 - ОСТ-7734; 5 - Крилова; 6 - Д'якова; 7 - Бергмана; 8 - Неймана; 9 - Льюїса; 10 - Бируля; 11 - Некрасова

Рисунок 1.3 – Порівняльна оцінка спрощених динамічних рівнянь II групи [4]



а) – розрахункова схема руху автомобілів; б) – залежність мінімальної відстані між автомобілями від швидкості руху за даними: 1 - Великанова; 2 - Фішельсона; 3 - Писарева; 4 - Полякова; 5 - Полякова; 6 - Едді

Рисунок 1.4 – Порівняльна оцінка спрощених динамічних рівнянь III групи

[4]

Збільшення швидкості та інтенсивності руху на дорогах, а також зростання числа дорожньо-транспортних подій, викликаних зіткненням автомобілів між собою, привели до необхідності детальнішого вивчення взаємодії рухомих один за одним автомобілів. Була розроблена теорія «слідування за лідером», що є подальшим розвитком спрощених динамічних моделей.

Першим і основним диференціальним рівнянням теорії «слідування за лідером» є рівняння [3]:

$$\frac{dV_k}{dt} = \frac{1}{t_p} (V_{k+1} - V_k), \quad (1.1)$$

де V_k, V_{k+1} – швидкості заднього і переднього автомобілів, м/с;

$\frac{dV_k}{dt}$ – прискорення заднього автомобіля, м/с²;

t_p – час реакції водія, с.

Отримане правило може бути сформульовано таким чином: при проходженні двох автомобілів один за одним на достатньо близькій відстані, коли позначається їх взаємний вплив, прискорення заднього автомобіля прямо пропорційно різниці швидкостей переднього і заднього автомобілів (відносної швидкості).

Дослідження дозволили одержати рівняння теорії «слідування за лідером» в загальному вигляді [3]:

$$\frac{dV_k}{dt} = \frac{a \cdot V_k^m (V_{k+1} - V_k)}{S^l}, \quad (1.2)$$

де a – коефіцієнт пропорційності;

S – відстань між автомобілями;

m і l – коефіцієнти.

Це рівняння використане для дослідження «локальної» і «асимптотичної» стійкості руху потоку автомобілів після внесення обурення в потік і для оцінки безпеки руху. Локальна стійкість характеризує відносне положення заданої пари автомобілів, а асимптотична - загасання або посилення амплітуди обурень при розповсюдженні їх уздовж колони автомобілів.

Теоріями, які дозволяють дати загальну оцінку стану потоку автомобілів є: гідродинамічні і газові.

Відомі дві гідродинамічні теорії, засновані на використанні: перша - рівняння нерозривності і друга - поняття про «потенціал тиску».

Рівняння нерозривності засноване на принципах закону збереження мас. При розгляді потоку автомобілів береться до уваги постійність загального числа автомобілів на ділянці дороги.

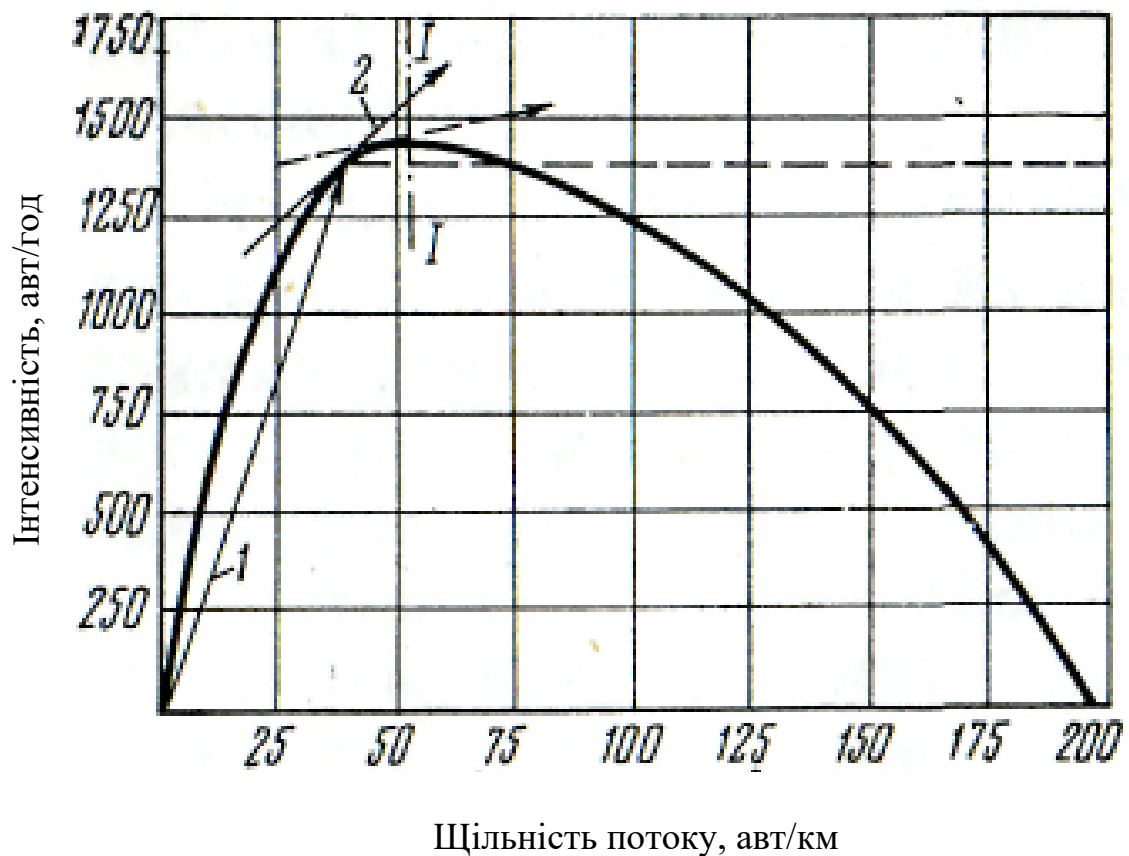
Основне рівняння нерозривності має вигляд [2]:

$$\frac{dq}{dt} + \frac{dN}{dx} = 0 . \quad (1.3)$$

Сенс цього рівняння наступний: кількість автомобілів, що входять в момент dt на ділянку dx , дорівнює кількості автомобілів, що виходять з цієї ділянки.

Гідродинамічна теорія використовується для опису утворення хвиль в потоці автомобілів і оцінки пропускної спроможності. Ці характеристики визначаються по основній діаграмі руху потоків автомобілів «інтенсивність - щільність» (рис. 1.5).

Гідродинамічна модель, заснована на використанні «потенціалу тиску» побудована на припущенні, що рух автомобіля виражається у вигляді функції деякого «потенціалу тиску», залежного від дорожніх умов і стану водія. Рух потоку автомобілів моделюється рівнянням руху потоку в'язкої рідини. Дорожні умови оцінюються параметром F_0 , який визначається за спостереженнями за швидкостями руху [4].



1 - радіус-вектор середньої швидкості;

2 - радіус-вектор швидкості розповсюдження ударної хвилі W

Рисунок 1.5 – Основна діаграма транспортного потоку [4]

$$F_0 = \ln(4V_0 - 2\Delta V) - \ln \Delta V, \quad (1.4)$$

де V_0 – швидкість руху у вільних умовах;

ΔV – зниження швидкості на окремих геометричних елементах.

Газова теорія дозволяє моделювати рух потоків автомобілів на багатосмугових дорогах і за вільних умов руху.

Основною функцією, що характеризує рух потоку автомобілів, є функція розподілу швидкостей руху.

Практичне використання цієї теорії засноване на визначенні фактичних

кривих розподілу швидкостей руху в різних дорожніх умовах.

Запропонована також теплова модель, в якій використовуються закономірності розповсюдження тепла в нескінченному металевому стрижні.

Для опису руху потоків автомобілів низької інтенсивності використовуються методи теорії вірогідності.

Найбільш широкого поширення набув розподіл Пуассона [3]:

$$P_n(t) = \frac{e^{-m} m^n}{n!}, \quad (1.5)$$

де $P_n(t)$ – вірогідність прибуття в певний розріз дороги n автомобілів за час t ;

m – середня кількість автомобілів, що прибувають за час t ;

t – тривалість інтервалу, що розглядається, с.

$$m = \frac{N \cdot t}{T}, \quad (1.6)$$

де N – кількість автомобілів, які пройшли за час T . Взагалі T приймають рівним 1 годині, тобто $T = 3600$.

Вірогідність того, що за час t не пройде жодного автомобіля дорівнює [3]:

$$P_0(t) = e^{-\frac{N \cdot t}{T}}. \quad (1.7)$$

Вже з характеристики потоку, який узятий за основу при виведенні рівняння Пуассона, видно, що ця закономірність якнайповніше описує рух потоків, що складаються з однотипних автомобілів, розподілених по дорозі.

Поява різного роду перешкод руху і зміна складу потоку автомобілів приводить до неможливості застосування розподілу Пуассона. Тому різними авторами були запропоновані поправки до цього рівняння.

Для обліку складу руху були запропоновані багатокомпонентні функції, засновані на розподілі Пуассона.

У рівняннях, запропонованих А. Шулем і Х. Ондермарком, потік складається з двох груп автомобілів, (зв'язаних і рухомих вільно), кожна з яких описується рівнянням Пуассона [4]:

$$P(t) = \alpha e^{-\lambda_1 t} + (1 - \alpha) e^{-\lambda_2 t}, \quad (1.8)$$

де α – кількість «зв'язаних» автомобілів;

$e^{-\lambda_1 t}, e^{-\lambda_2 t}$ – вірогідності появи інтервалів певної довжини зв'язаної і вільної частки потоку автомобілів.

Для опису руху потоків автомобілів в характерних умовах можуть бути також використані ланцюги Маркова, гамма розподіл, біноміальний розподіл та ін.

Великі можливості для опису руху потоків автомобілів середньої інтенсивності має теорія масового обслуговування.

Питанням практичного використання теорії масового обслуговування присвячені роботи Я.А. Калужського і Ф. Хейта.

1.3 Загальна оцінка моделей руху потоків автомобілів

Не дивлячись на різні підходи до розробки математичних моделей руху потоків автомобілів, між ними багато спільного.

Так, наприклад, існує тісний зв'язок між динамічними моделями. Теоретичні дослідження, проведені Ф. Хейтом, показали, що рішення рівнянь теорії

«слідкування за лідером» приводить до кінцевого рівняння гідродинамічної моделі.

На близькість всіх динамічних моделей також указує те, що за допомогою кожної з них можна побудувати основну діаграму руху потоку автомобілів: «інтенсивність-щільність» (див. рис. 1.5), в якій зв'язані між собою всі основні характеристики руху потоку автомобілів. По діаграмі «інтенсивність-щільність» можна визначити: швидкість, щільність, інтенсивність, швидкість розповсюдження ударної хвилі і т. ін. Частина кривої, розташована зліва від лінії I-II відповідає нормальним умовам руху без утворення заторів, права крива - руху автомобілів при виникненні заторів.

По цій залежності середня швидкість руху визначається як приватне від ділення інтенсивності руху N (авт/ч) на щільність q (авт/км).

Іншими словами, тангенс кута нахилу радіус-вектору рівний середній швидкості руху потоку автомобілів. Максимальна інтенсивність, що одержується по діаграмі, відповідає пропускній спроможності даної ділянки дороги. Тангенс нахилу дотичної до кривої «інтенсивність-щільність» рівний швидкості розповсюдження хвилі в потоці автомобілів.

Окрім вказаних характеристик руху потоку автомобілів по діаграмі, можна також оцінити середню величину інтервалу в часі між рухомими один за одним автомобілями (Δt) і інтервал в часі між заднім буфером переднього автомобіля і переднім буфером заднього автомобіля (δt).

Ці інтервали в часі визначаються по наступних рівняннях [2]:

$$\Delta t = \frac{3600}{N} ; \quad (1.9)$$

$$\delta t = \frac{3600}{N} - \frac{l_a \cdot q}{N} , \quad (1.10)$$

де N – інтенсивність руху, авт/год;

q – щільність руху, авт/год;

l_a – середня довжина автомобіля, м

Загальний вид рівняння «інтенсивність – щільність», одержаного на основі рівняння теорії «слідування за лідером», наступний [2]:

$$N = \alpha_0 \cdot q \cdot \ln \frac{q_{\max}}{q} . \quad (1.11)$$

Це рівняння ідентично з рівнянням Грінберга при $\alpha_0 = C$, яке одержане за допомогою гідродинамічної моделі.

У рівнянні (1.11) α_0 – характеристична швидкість руху потоку автомобілів на даній ділянці дороги. Ця швидкість визначається на основі аналізу взаємодії двох рухомих один за одним автомобілів на цій ділянці дороги.

Крива «інтенсивність – щільність» може бути також одержана при допомозі рівнянь III типу спрощеної динамічної моделі руху потоку автомобілів, які розв'язуються щодо швидкості з використанням рівняння зв'язку [2]:

$$N = V \cdot q . \quad (1.12)$$

На тісний зв'язок між собою динамічних теорій указує те, що з рівняння III типу спрощеної динамічної моделі може бути одержано одне з рівнянь теорії «слідування за лідером».

Після диференціювання обох частин рівняння (1.1) отримуємо [3]:

$$\frac{dS}{dt} = (t + 2B \cdot V) \frac{dV}{dt} \quad (1.13)$$

або

$$\frac{dV}{dt} = C_1 \frac{dS}{dt} (1 + C_2 \cdot V) . \quad (1.14)$$

Рівняння (1.14) може бути розглянуто як рівняння теорії «слідування за лідером» з «чуттєвістю» [3]:

$$\alpha = \frac{C_1}{1 + C_2 \frac{dx_{n+1}}{dt}} . \quad (1.15)$$

Отже, не дивлячись на різний підхід до виведення основного рівняння руху потоку автомобілів, кінцеві результати всіх динамічних теорій (за винятком газової) близькі один до одного. Це указує на можливе існування однієї комплексної динамічної теорії руху потоку автомобілів.

Уточнення динамічних теорій в даний час можливо тільки на основі проведення широких натурних спостережень за рухом потоків автомобілів різних по складу, рухомих в різних дорожніх умовах.

Не дивлячись на детальну розробку окремих теорій, все ж таки практичне застосування їх дуже обмежене унаслідок трудомісткості обчислювальних робіт. Однак використання сучасних комп'ютерів дозволяє розширити практичне використання математичних моделей.

Найбільш важливе практичне застосування моделі руху потоку автомобілів знаходять при визначенні пропускної спроможності автомобільних доріг і їх елементів. В окремих випадках пропускна спроможність може бути визначена тільки за допомогою математичних моделей руху потоків автомобілів.

Для оцінки пропускної спроможності можуть бути використані як динамічні, так і імовірнісні моделі.

Імовірнісні моделі використовуються для оцінки пропускної спроможності ділянок автомобільних доріг, де відбувається взаємодія потоків автомобілів, рухомих по різних смугах: перетини в одному рівні, ділянки злиття і переплетення потоків. В цьому випадку імовірнісна модель використовується для оцінки кількості граничних інтервалів - інтервалів, які приймаються воді-

ями при перетині потоку автомобілів, при злитті або при зміні смуг руху. Величина граничного інтервалу визначається експериментальним шляхом. По кількості граничних інтервалів і часу, потрібного для здійснення маневру злиття, переплетення або перетину, визначається пропускна спроможність [3].

Імовірнісні моделі не можуть бути використані для оцінки пропускної спроможності дороги, оскільки вони описують тільки рідкісні потоки автомобілів. В цьому випадку можуть бути застосовані тільки динамічні моделі руху потоків автомобілів. При цьому або по кривій «інтенсивність-щільність», або по кривій «інтенсивність-швидкість» визначається максимальна інтенсивність руху, яка відповідає пропускній спроможності. Потік автомобілів розглядається як безперервний [3].

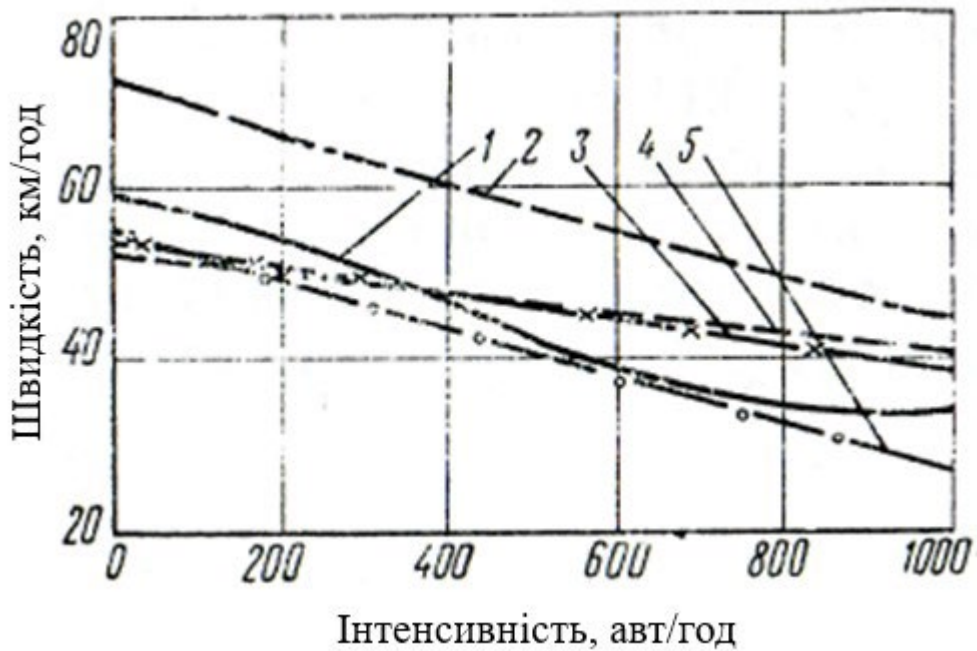
1.4 Моделювання руху та склад транспортного потоку

1.4.1 Вплив інтенсивності і складу руху на швидкість

Зміна інтенсивності і складу руху викликає зміну величин основних характеристик руху потоку автомобілів: швидкості, інтервалів і щільності. Кількісна оцінка зміни цих характеристик має велике значення при вивченні режиму руху потоку автомобілів і пропускної спроможності доріг. Особливо це стосується швидкості руху, яка є основною характеристикою руху потоку автомобілів.

Інтенсивність і склад руху роблять великий вплив на величину і характер зміни швидкості руху. Проведені спостереження показують, що швидкість має криволінійну залежність від інтенсивності (див. рис. 1.6). Характерним є те, що кривизна цієї залежності зменшується при русі більш однорідних по складу потоків автомобілів. Перший перегин залежності спостерігається при інтенсивності руху, при якій починають з'являтися групи і «пачки» автомобілів. Групу утворюють автомобілі, які мають однакові динамічні можливості. Водії цих

автомобілів не прагнуть зробити обгін. «Пачку» утворюють автомобілі, які вимушені рухатися за поволі рухомих автомобілем. Водії цих автомобілів прагнуть зробити обгін. Другий перегин - при інтенсивності, при якій припиняються всякі обгони і рух приймає характер колонного [4].



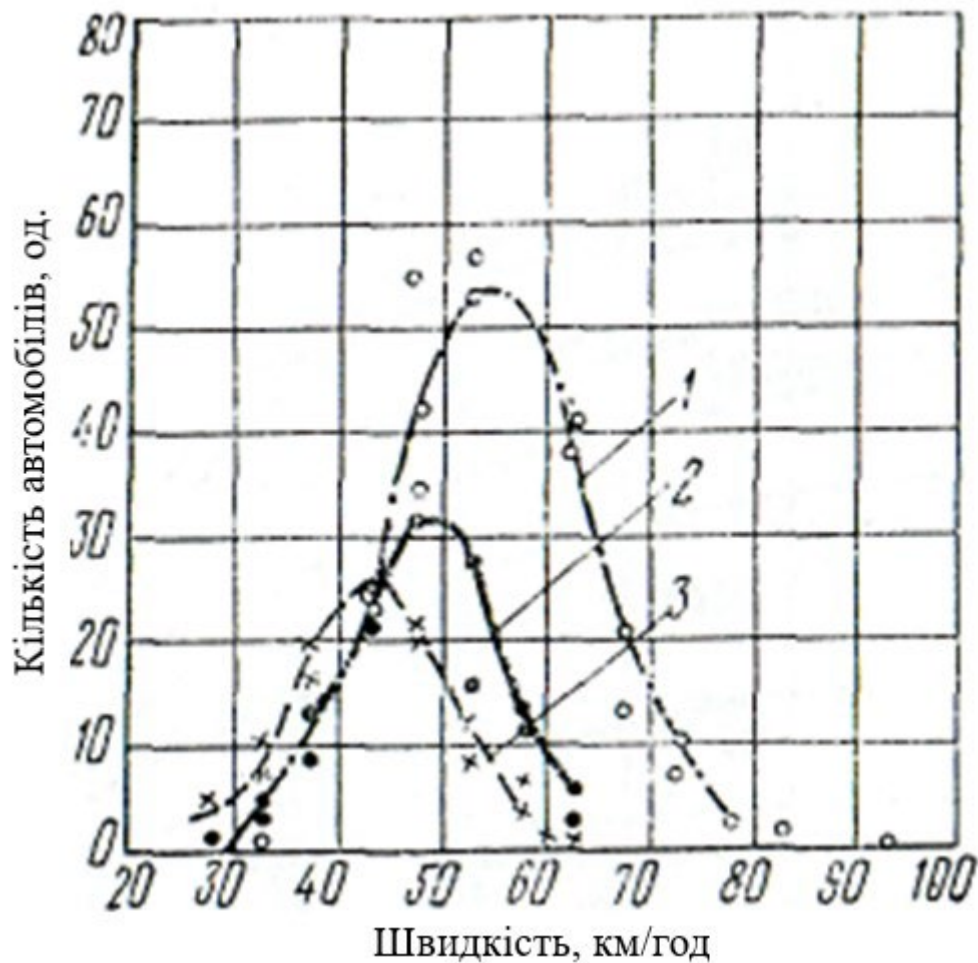
1 – для всього потоку (за Я.А. Калужським); 2 – для легкових автомобілів (за Я.А. Калужським); 3 – для вантажних автомобілів (за Я.А. Калужським); 4 – для всього потоку (за Н.Ф. Хорошиловим); 5 – для всього потоку (за Л.А. Кероглу)

Рисунок 1.6 – Залежність швидкості руху від інтенсивності [4]

Дослідники відзначали прямолінійну залежність «швидкість – інтенсивність» без рекомендації можливого діапазону стійкого існування такої залежності (див. рис. 1.6). Вказані дослідження показали можливість використання прямолінійних залежностей тільки в певних інтервалах значень інтенсивності руху. Зміна складу руху викликає не тільки зміну кривизни, але і загальний середній нахил кривої до осі «інтенсивність» [4].

1.4.2 Розподіл швидкості автомобілів

Форма кривої розподілу значень швидкостей істотно залежить від інтенсивності і складу руху; при високій інтенсивності – близька нормальній кривій розподілу, при низькій – до полімодальної кривої розподілу (див. рис. 1.7) [4].



1 – розподіл швидкостей легкових автомобілів; 2 – розподіл швидкостей вантажних автомобілів середньої вантажопідйомності; 3 – розподіл швидкостей вантажних автомобілів великої вантажопідйомності

Рисунок 1.7 – Криві розподілу швидкості окремих автомобілів [4]

При рішенні задач проектування доріг і організації руху необхідно мати в своєму розпорядженні відомості про характер розподілу швидкостей.

Як показали дослідження різних авторів, одній середній швидкості потоку недостатньо для оцінки умов руху. Наприклад, при визначенні коефіцієнтів безпеки по методу проф. В. Ф. Бабкова необхідні дані про зміну швидкості швидкохідних автомобілів [5]. При проектуванні доріг граничні значення їх параметрів (подовжній ухил, радіуси горизонтальних і вертикальних кривих і т. п.) встановлюють стосовно розрахункової швидкості, яка значно вища за середню швидкість потоку. Техніко-економічне обґрунтування необхідності поліпшення умов руху базується на аналізі розподілу швидкості.

Швидкість руху автомобіля в потоці є випадковою величиною, залежною від великої кількості чинників. Практично всі чинники, що визначають швидкість руху, можна розділити на дві групи: чинники, пов'язані з дорожніми умовами (подовжній ухил, рівність і шорсткість проїжджої частини, ширина смуги руху і т. п.); чинники, пов'язані з складом і інтенсивністю транспортного потоку.

Перша група чинників визначає бажану швидкість вільного руху окремих автомобілів, друга - швидкість автомобілів в потоці. Швидкість окремого автомобіля є випадковою величиною. Тому вичерпна інформація про швидкість руху як окремих автомобілів, так і всього потоку може бути одержана при відомому законі розподілу вірогідності значень швидкості [6].

Швидкість вільного руху окремих автомобілів повинна вимірюватися за відсутності перешкод з боку інших автомобілів потоку. Автомобілі рухаються вільно, якщо інтервал до автомобіля, що йде попереду, не менше за деяку критичну величину, приблизно рівну 7-9 с. При менших інтервалах, як показують спостереження, водій наздоганяючого автомобіля починає або зменшувати швидкість, або готуватися до обгону [6].

Дослідження, виконані різними авторами, показали, що емпіричний розподіл вільної швидкості всіх автомобілів не може бути описаний будь-яким з простих аналітичних розподілів з одним або двома параметрами (нормальне,

гамма-розподіл і т. п.). Вибір для всього потоку як апроксимуючий розподіл з трьома і більш параметрами неефективний, оскільки такі параметри, як коефіцієнт асиметрії і ексцесу, не виявляють стійкої кореляції з дорожніми параметрами (подовжній ухил, ширина проїжджої частини і т. п.). В той же час розподіл швидкості вільного руху окремих автомобілів може бути цілком задовільно описано достатньо простими і добре відомими розподілами: нормальним і гамма-розподілом. Функції щільності імовірностей для них відповідно мають вигляд [6]:

$$f(v) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(v-m)^2}{2\sigma^2}} ; \quad (1.16)$$

$$f(v) = \lambda \frac{(\lambda \cdot v)^K}{K!} e^{-\lambda v} , \quad (1.17)$$

де m – середнє значення швидкості;
 σ^2 – дисперсія швидкості;
 λ і K – параметри гамма-розподілу.

Параметри двох рівнянь зв'язані між собою наступними формулами [6]:

$$\lambda = \frac{m}{\sigma^2} ; \quad (1.18)$$

$$K + 1 = \frac{m^2}{\sigma^2} . \quad (1.19)$$

Загальний розподіл швидкості всіх автомобілів не може бути задовільно описаний щільністю вірогідності виду (1.16) або (1.17), але може бути апроксимований функцією виду [6]:

$$f(v) = \sum_{j=1}^n P_j \cdot f_j(v), \quad (1.20)$$

де P_j – вага j -ї типової групи автомобілів потоку;

$f_j(v)$ – щільність вірогідностей швидкості автомобілів j -ї групи;

$f(v)$ – загальна щільність вірогідностей швидкості потоку.

Числові характеристики розподілів швидкості m , σ (або λ і K) визначаються дорожніми параметрами (подовжній ухил, ширина проїжджої частини, стан покриття і т. п.). У таблиці 1.1 показані результати статистичної обробки спостережень за швидкістю вільного руху на двосмугових дорогах з шириною проїжджої частини 7-7,5 м при сухому і чистому покритті для різних типів автомобілів на ділянках з різним подовжнім профілем згідно з [6].

Таблиця 1.1 – Статистична обробка спостережень швидкості вільного руху [6]

Типовий автомобіль групи	Характеристика розподілу швидкості	Повздовжній ухил дороги, %						
		-6	-4	-2	0	+2	+4	+6
1	2	3	4	5	6	7	8	9
вантажний ГАЗ-53А	m , км/год	50	66	74	74	68	58	43
	σ	8,0	11,2	12,6	14,1	14,6	15,1	13,2
	λ	0,69	0,52	0,47	0,37	0,32	0,25	0,25
	K	34,6	34,6	34,6	27,7	21,6	14,8	10,4
вантажний ЗИЛ-130	m , км/год	43	65	71	70	61	50	38
	σ	7,7	11,8	13,1	13,9	13,8	13,5	12,8
	λ	0,72	0,47	0,41	0,36	0,32	0,27	0,23
	K	30,9	30,9	29,2	25,0	19,8	13,7	8,9

Кінець таблиці 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
вантажний МАЗ-500	m , км/год	43	56	60	57	50	41	30
	σ	11,1	11,2	9,6	9,2	11	14	14
	λ	0,34	0,44	0,65	0,68	0,41	0,21	0,14
	K	14,8	25,0	39,1	39,1	20,7	8,6	4,9
автобус ЛАЗ-695	m , км/год	47	65,9	74	74	68	58	42
	σ	8,2	11,2	12,6	12,6	12,9	12,8	14,1
	λ	0,65	0,52	0,46	0,47	0,40	0,36	0,22
	K	32,6	34,6	34,6	34,6	27,4	20,7	9,2
легковий ГАЗ-21 «Волга»	m , км/год	61	78	87	86	78	64	50
	σ	9,8	13,6	16,1	17,3	17,2	15,5	13,5
	λ	0,64	0,42	0,34	0,29	0,26	0,27	0,28
	K	39,1	32,6	29,2	25,0	20,7	17,4	13,7

1.4.3 Проблема відповідності існуючих математичних моделей сучасним умовам руху

Розглянуті вище математичні моделі та залежності безумовно є дійсними, але для транспортної ситуації, коли вони розроблялися. Особливо це стосується різного роду графічних залежностей.

За останній час автомобільний парк світу і України в тому числі значно змінився. Кількість автомобільних транспортних засобів зростає. Змінюються їх технічні, та експлуатаційні характеристики, що визначають можливості руху на вулично-дорожній мережі.

У теперішні дні склад транспортного потоку на автодорогах України досить різноманітний і представляє собою величезну кількість автомобілів, яка невинно зростає з кожним днем, як в Україні, так і в усьому світі.

Склад транспортного потоку з кожним роком змінюється, зростає кількість автомобілів на дорогах різних марок, які розрізняються по багатьом параметрам: потужність двигуна, прийомісткість автомобіля, загальна вага, маневреність. Постає задача проаналізувати наскільки склад транспортного потоку відповідає вже відомим залежностям основних характеристик дорожнього руху, а головне – на що він впливає в першу чергу.

Для того, щоб проаналізувати вплив складу потоку на його характеристики і відповісти на питання щодо дійсності старих моделей новим умовам, потрібно отримати дані про типовий склад транспортного потоку.

Тому метою цієї магістерської роботи є отримання характерних представників типів автомобілів, аналіз їх характеристик та визначення впливу цих характеристик на математичні моделі руху.

2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Організація і проведення дослідження складу сучасного транспортного потоку

Для здійснення поставленої задачі необхідно провести експериментальні дослідження, головною задачею яких є збір даних. У процесі дослідження планується вивчити склад та швидкісні характеристики транспортного потоку. Але для того, щоб приступити до цього, насамперед, необхідно виділити ділянку дороги на якій вони будуть проводитись, а також надати деяку інформацію про неї (довжину, ширину проїзної частини, кількість смуг руху, наявність дорожніх знаків, стан розмітки.).

У якості ділянки дослідження було обрано частину трасу Харків – Сімферополь, загальна характеристика якої наведена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристика ділянки дороги

Ухил, ‰	Довжина , м	Наявність розмітки	Наявність дорожніх знаків
0	297	1.1, 1.5, 1.6, 1.7	1.7, 1.22, 7.2.1

На першому етапі досліджень проводимо загальні спостереження і фіксуємо тільки склад транспортного потоку.

Дослідження складу транспортного потоку проводилося 11 серпня 2023 року. Кліматичні умови сприятливі: сухо, сонячно. Дорожнє покриття в задовільному стані.

Результати спостережень складу транспортного потоку наведені на рисунках 2.1-2.3.

Легкові автомобілі

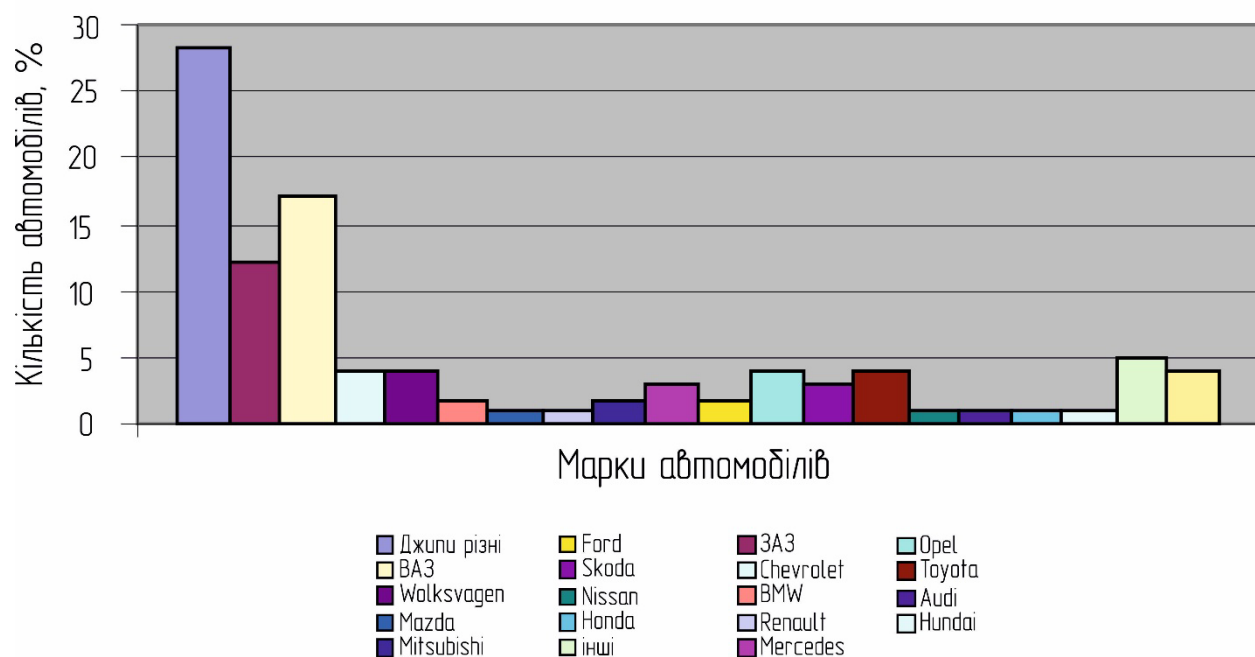


Рисунок 2.1 – Розподіл типів легкових автомобілів в транспортному потоці

Вантажні автомобілі, %

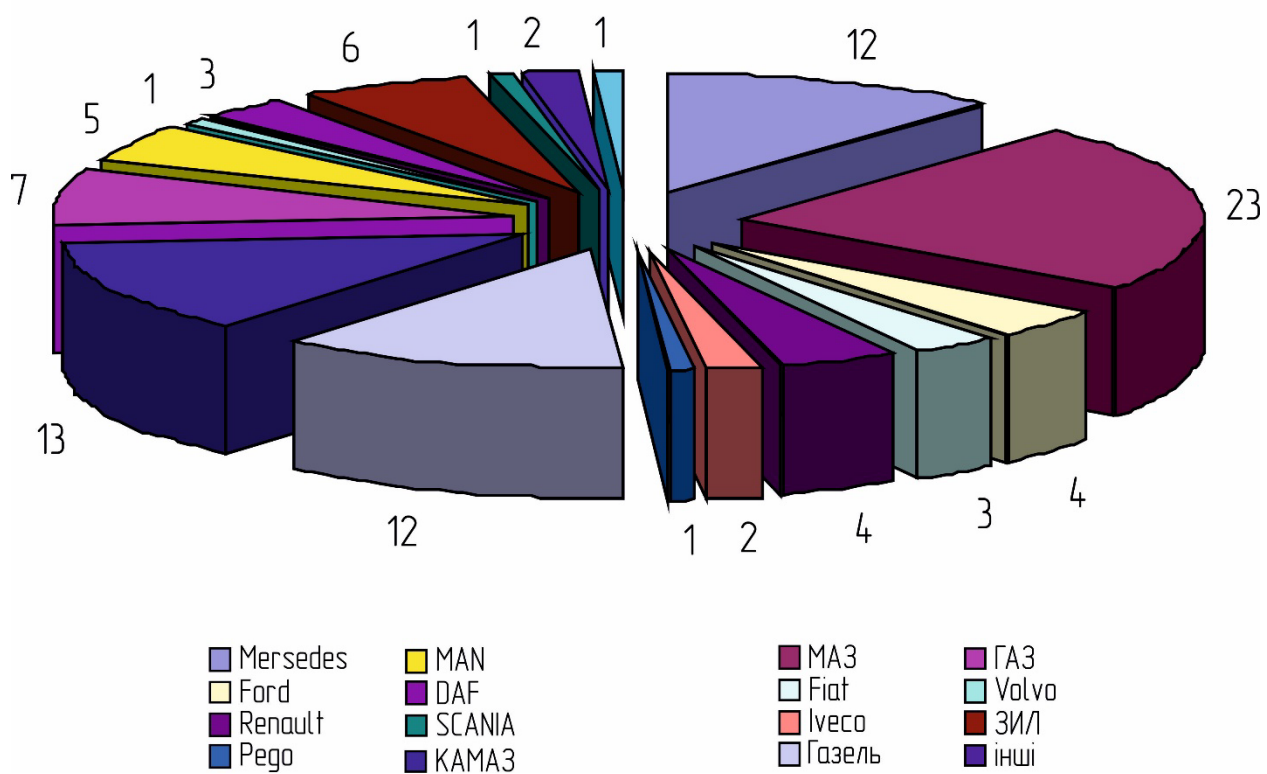


Рисунок 2.2 – Розподіл типів вантажних автомобілів в транспортному потоці

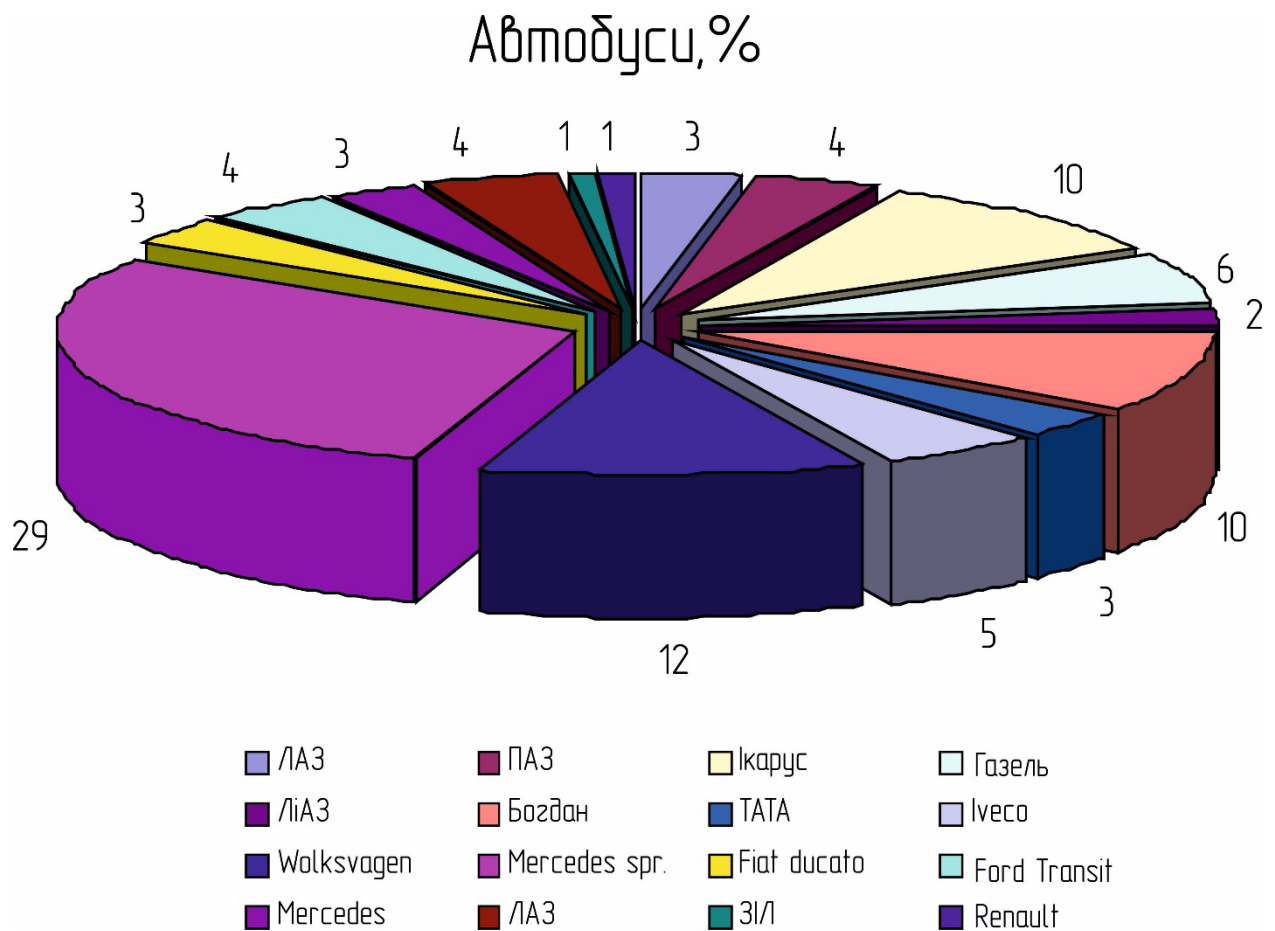


Рисунок 2.3 – Розподіл типів автобусів в транспортному потоці

Проведені дослідження довели, що у сучасному транспортному потоці більшість складають для легкових автомобілів різного роду «джипи», для вантажівок – МАЗ, для автобусів – Mercedes Sprinter, VW LT та Богдан. Перші два є мікроавтобусами. Тому для подальшого дослідження обираємо все ж таки Богдан, який є повноцінним автобусом.

Навіть не аналізуючи технічні та експлуатаційні характеристики цих автомобілів можна стверджувати, що вони значно відрізняються від базових автомобілів минулих років – ГАЗ 24, ЛАЗ – 695, ГАЗ – 53. Отже можна висунути допущення, що і динаміка руху у цих автомобілів інша. А саме такі показники, а також гальмівні якості автомобілів, визначають їх динамічний габарит, розрахунок якого лежить в основі всього математичного моделювання руху, як було показано в п. 1.2.

2.2 Дослідження швидкості вільного руху характерних автомобілів

2.2.1 Основні характеристики характерних автомобілів

2.2.1.1 Характеристики типового легкового автомобілю

Характерним представником сучасного транспортного потоку є легковий автомобіль типу «джип».

Загальний вигляд джипу наведений на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4 – Автомобілі «джипи» різних виробників

«Джипи» є практично у всіх автомобільних виробників світу. Дуже різняться за характеристиками, розмірами та масою. Можуть мати велику вагу, співставну із вантажними автомобілями невеликої вантажопідйомності. При цьому є легковими автомобілями, яким притаманні значні можливі швидкості руху. В таблиці 2.2 наведені основні технічні характеристики представника «джипів» від Toyota.

Таблиця 2.2 – Основні технічні характеристики автомобіля Toyota Land Cruiser J200 [7]

№	Технічний параметр	Значення
1	Потужність двигуна, кс	381
2	Об'єм двигуна, см ³	5663
3	Кількість циліндрів	8
4	Тип палива	бензин

Кінець таблиці 2.2

№	Технічний параметр	Значення
5	Витрати палива, л/100 км	
	в міських умовах	18,1
	в позаміських умовах	13,1
6	Об'єм паливного баку, л	93
7	Споряджена маса автомобіля, кг	2615
8	Припустима повна маса, кг	3300
9	Довжина автомобіля, мм	4950
10	Ширина автомобіля, мм	1971
11	Висота автомобіля, мм	1880
12	Колісна база, мм	2850
13	Максимальна швидкість руху, км/год	205
14	Прискорення 0-100 км/год, сек	8,6

2.2.1.2 Характеристики типового вантажного автомобілю

Згідно з даними досліджень найбільш поширеними у сучасному транспортному потоці є автомобілі сімейства МАЗ вантажопідйомністю близько 8 т. Марок та модифікацій з такою вантажопідйомністю декілька. Для аналізу був обраний МАЗ 53371, загальний вигляд якого наведений на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 – Автомобіль МАЗ 53371-031

Автомобіль МАЗ 53371-031 призначений для перевезення різноманітних вантажів та може використовуватися у складі автопоїзду. Технічні характеристики цього автомобіля приведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Характеристики автомобіля МАЗ 53371-031 [8]

Характеристика	Значення
Колісна формула	4 х 2
Повна маса автопоїзду, кг	28000
Розподіл повної маси:	
на передню вісь, кг	6000
на задню вісь, кг	10000
Маса знятого автомобіля, кг	7350
Вантажопідйомність, кг	8500
Внутрішні розміри платформи, мм	4990x2350x700
Об'єм платформи, м ³	8
Площа платформи, м ²	11,7
Зчеплення	ЯМЗ-236К
Двигун	ЯМЗ-236М2
Потужність двигуна, кВт (к.с.)	132 (180)
Паливний бак, л	200
Контрольна витрата палива, л/100 км при V=60 км/год	21,5 (31)*
Основний причеп, що використовується	МАЗ 8926-02

* - для автопоїзду

2.2.1.3 Характеристики типового автобусу

Згідно з даними досліджень найбільш поширеними у сучасному транспортному потоці є автобус Богдан А-092, загальний вигляд якого наведений на рисунку 2.6.

Технічні характеристики автобусу Богдан А-092 наведені у таблиці 2.4



Рисунок 2.6 – Автобус Богдан А-092

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики автобусу Богдан А-092 [9]

Технічний параметр	Значення
Габаритні розміри, мм, не більше	
довжина	7730
ширина	2380
висота	2750
База, мм	3815

Кінець таблиці 2.4

Технічний параметр	Значення
Зовнішній габаритний радіус повороту, автобуса по точці переднього бампера, найбільш віддаленого від центру повороту, м, не більше	8
Пасажиromісткість	42
Число місць для сидіння, не менше	15
Маса спорядженого автобуса, не більше, кг	5300
Повна маса автобуса, не більше, кг	8230
Тип двигуна	дизельний
Максимальна потужність, 37 Вт (к.с.) при частоті звернення колінчастого валу, об/хв.	89 (121) / 3200
Максимальна швидкість руху, км/год, не менше	80
Витрата палива при русі з постійною швидкістю 60км/ч, л/100 км, не більше	16

2.2.2 Організація і проведення дослідження швидкостей руху

Дослідження швидкостей руху характерних автомобілів пропонується виконати на тій самій ділянці дороги, що й дослідження складу транспортного потоку. Для подальшого аналізу потрібно дослідити швидкості вільного руху автомобілів та швидкості їх руху у потоці.

Кількість спостережень визначаємо виходячи з правила, що необхідна кількість вимірювань швидкостей руху в основному залежить від інтенсивності руху [4]. Орієнтовно можна прийняти кількість вимірювань, що наведена в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Залежність кількості вимірювань від інтенсивності руху

Інтенсивність руху в одному напрямку, авт/год	менше 50	50 – 100	100 – 200	більше 200
Кількість вимірювань	150	100	50	30

Проведення експериментальних досліджень проводимо на обраній ділянці. Використовуючи радіолокатори «Іскра-1» й «Беркут», основна характеристика яких наведена в таблиці 2.6, проводимо необхідні нам виміри, а саме, зафіксуємо швидкості автомобілів на даній ділянці дороги й заносимо їх у форму обліку необхідних записів. У формі вказуємо марку автомобіля й коротку інформацію про нього (вантажопідйомність, тип і т. ін.), яка може виявитися корисною при обробці отриманих даних.

Таблиця 2.6 – Основна характеристика радіолокаторів «Беркут» та «Іскра – 1»

Параметри	Моделі	
	Беркут	Іскра – 1
Робоча частота, ГГц	24,15+0,011	24,15+0,1
Діапазон вимірюваних швидкостей, км/год	Від 20 до 200	Від 30 до 180
Погрішність визначення швидкостей, км/год	+1	+2
Максимальна дальність виявлення	Не менше 400 метрів	Не менше 300 метрів
Режим роботи	Імпульсний режим	Ручний моно-імпульсний
Виділення швидкості найшвидкісної цілі групи	Одночасний вимір та фіксація швидкостей двох цілей	При перевищенні швидкості цілі над іншими на 10 км
Тип індикатора	Графічний, з інформацією про настройки та результати виміру	Трьохзначний, світлодіодний і з регулюванням яскравості
Кількість комірок пам'яті, час збереження інформації	2 комірки, 10 хвилин	

Кінець таблиці 2.6

Параметри	Моделі	
	Беркут	Іскра – 1
Постачання підігріву теплом	так	ні
Підсвічування	Індикатор, кнопки керування	Немає
Маса	Без ПДК - 500	900
Габаритні розміри, мм	190 x 185 x 75	268 x 180 x 65
Споживана потужність	Не більше 1,5 Вт	Середня, не більше 8 Вт

Результати досліджень швидкостей вільного руху наведені в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Результати вимірювання швидкостей руху характерних автомобілів при вільному русі

№	V, км/год	№	V, км/год	№	V, км/год	№	V, км/год	№	V, км/год
Легковий автомобіль типу «джип»									
1	66	11	75	21	92	31	72	41	76
2	59	12	63	22	78	32	87	42	83
3	70	13	68	23	63	33	77	43	70
4	74	14	83	24	67	34	67	44	58
5	62	15	81	25	76	35	73	45	68
6	83	16	76	26	91	36	61	46	76
7	84	17	64	27	63	37	81	47	81
8	72	18	72	28	68	38	85	48	87
9	81	19	64	29	73	39	73	49	86
10	75	20	74	30	93	40	61	50	95
Вантажний автомобіль МАЗ									
1	50	11	62	21	47	31	60	41	64
2	53	12	61	22	57	32	60	42	61
3	50	13	55	23	60	33	51	43	60
4	53	14	53	24	68	34	57	44	61

Кінець таблиці 2.7

№	V, км/год	№	V, км/год	№	V, км/год	№	V, км/год	№	V, км/год
5	59	15	62	25	61	35	67	45	69
6	65	16	70	26	71	36	69	46	60
7	51	17	53	27	60	37	55	47	46
8	71	18	61	28	64	38	63	48	67
9	66	19	72	29	65	39	73	49	60
10	56	20	64	30	72	40	60	50	58
Автобус Богдан									
1	47	11	61	21	66	31	67	41	65
2	71	12	54	22	73	32	71	42	72
3	65	13	61	23	55	33	75	43	66
4	57	14	75	24	62	34	69	44	74
5	55	15	60	25	64	35	70	45	54
6	60	16	50	26	54	36	55	46	70
7	64	17	65	27	56	37	74	47	73
8	78	18	68	28	70	38	72	48	63
9	63	19	73	29	76	39	69	49	52
10	66	20	60	30	63	40	71	50	69

Результати досліджень швидкостей при русі у потоці наведені в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Результати вимірювання швидкостей руху характерних автомобілів при русі в транспортному потоці

№	V, км/год	№	V, км/год	№	V, км/год	№	V, км/год	№	V, км/год
Легковий автомобіль типу «джип»									
1	58	11	64	21	64	31	54	41	68
2	68	12	76	22	47	32	61	42	76
3	70	13	60	23	75	33	78	43	59

Кінець таблиці 2.8

№	V, км/ГОД	№	V, км/ГОД	№	V, км/ГОД	№	V, км/ГОД	№	V, км/ГОД
4	56	14	43	24	68	34	48	44	56
5	53	15	46	25	64	35	51	45	64
6	43	16	62	26	75	36	64	46	67
7	80	17	66	27	60	37	68	47	80
8	45	18	75	28	51	38	75	48	77
9	45	19	50	29	66	39	52	49	54
10	52	20	51	30	68	40	62	50	51
Вантажний автомобіль МАЗ									
1	64	11	61	21	77	31	66	41	53
2	54	12	68	22	52	32	48	42	55
3	52	13	40	23	75	33	63	43	71
4	55	14	65	24	53	34	61	44	61
5	51	15	55	25	51	35	50	45	53
6	57	16	60	26	60	36	64	46	63
7	50	17	40	27	59	37	53	47	51
8	37	18	57	28	53	38	55	48	62
9	65	19	61	29	43	39	58	49	65
10	60	20	52	30	61	40	67	50	55
Автобус Богдан									
1	39	11	54	21	53	31	50	41	60
2	53	12	79	22	70	32	71	42	60
3	53	13	57	23	60	33	50	43	55
4	39	14	62	24	70	34	59	44	60
5	61	15	47	25	66	35	58	45	75
6	50	16	55	26	68	36	77	46	53
7	57	17	56	27	70	37	57	47	83
8	53	18	83	28	43	38	60	48	50
9	58	19	49	29	64	39	44	49	70
10	38	20	70	30	48	40	50	50	55

2.2.3 Обробка отриманих результатів вимірювання швидкостей

Результати обробки вимірювань швидкості на ділянці дороги наведені у таблицях 2.9-2.14 для різних автомобілів, що спостерігалися.

Таблиця 2.9 – Розподіл швидкостей вільного руху автомобілів «джип»

Швидкість, км/год	Середня швид- кість V_i , км/год	Кількість спостере- жень у групі m_i	Частість $f_i = \frac{m_i}{\sum m_i}$	Накопичена частість $F(V)$
55-60	57,5	2	0,04	0,04
60-65	62,5	8	0,16	0,2
65-70	67,5	8	0,16	0,36
70-75	72,5	10	0,2	0,56
75-80	77,5	6	0,12	0,68
80-85	82,5	9	0,18	0,86
85-90	87,5	3	0,06	0,92
90-95	92,5	4	0,08	1

Значення середньої швидкості руху (згідно з даними таблиці 2.9):

$$\bar{V} = \frac{\sum V_i \cdot m_i}{\sum m_i}, \quad (2.1)$$

$$\bar{V} = \frac{3720}{50} = 74.4 \text{ км/год.}$$

Таблиця 2.10 – Розподіл швидкостей вільного руху автомобілів МАЗ

Швидкість, км/год	Середня швидкість V_i , км/год	Кількість спостере- жень у групі m_i	Частість $f_i = \frac{m_i}{\sum m_i}$	Накопичена частість $F(V)$
45-50	47,5	4	0,08	0,08
50-55	52,5	8	0,16	0,24
55-60	57,5	13	0,26	0,5
60-65	62,5	13	0,26	0,76
65-70	67,5	7	0,14	0,9
70-75	72,5	5	0,1	1

Значення середньої швидкості руху за даними таблиці 2.10:

$$\bar{V} = \frac{3005}{50} = 60.1 \text{ км/год.}$$

Таблиця 2.11 – Розподіл швидкостей вільного руху автобусів Богдан

Швидкість, км/год	Середня швидкість V_i , км/год	Кількість спостере- жень у групі m_i	Частість $f_i = \frac{m_i}{\sum m_i}$	Накопичена частість $F(V)$
45-50	47,5	2	0,04	0,04
50-55	52,5	7	0,14	0,18
55-60	57,5	5	0,1	0,28
60-65	62,5	11	0,22	0,5
65-70	67,5	11	0,22	0,72
70-75	72,5	12	0,24	0,96
75-80	77,5	2	0,04	1

Значення середньої швидкості руху за даними таблиці 2.11:

$$\bar{V} = \frac{3050}{50} = 61 \text{ км/год.}$$

Обробка даних швидкісних режимів вільного руху на ділянці, що розглядається, наведена на рисунках 2.7-2.9.

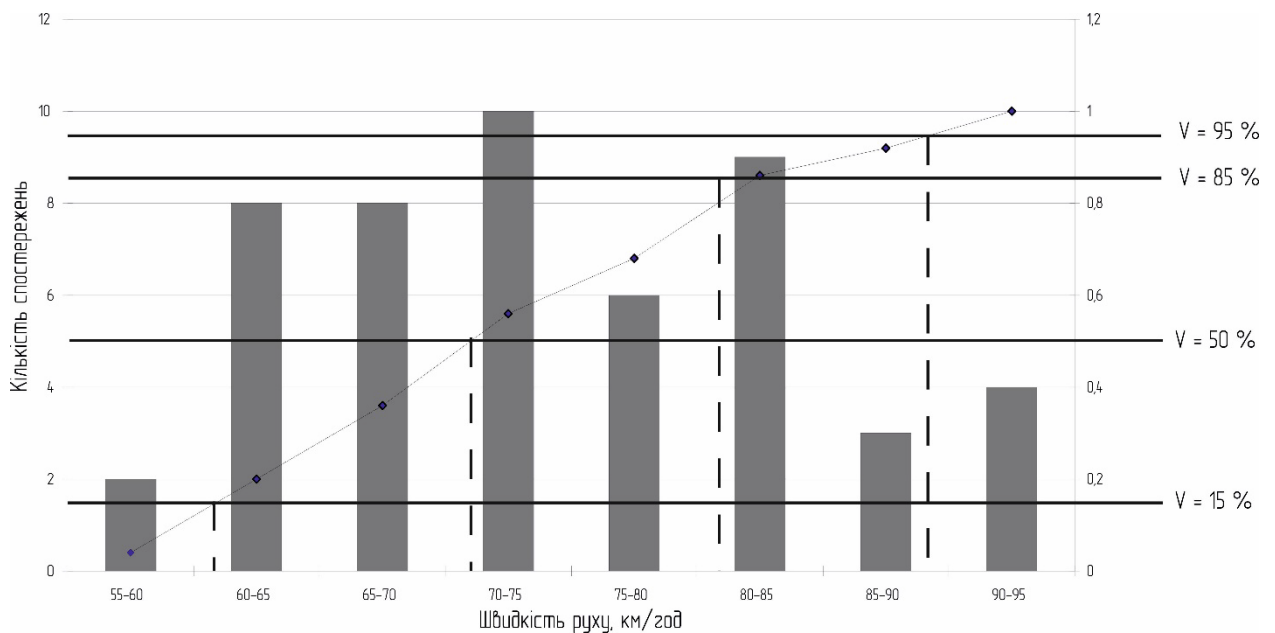


Рисунок 2.7 – Розподіл швидкостей руху «джипів» у вільних умовах

Важливою складовою аналізу швидкостей руху є отримання на основі дослідження кумулятивних кривих певних рівнів забезпеченості швидкості, а саме 15, 50, 85 і 95 % [1].

Перша група швидкостей 15 % забезпеченості фактично відображає швидкості руху найповільніших автомобілів. Саме вони доволі часто стають причиною виникнення дорожньо-транспортних пригод при виконанні маневрів обгону [1].

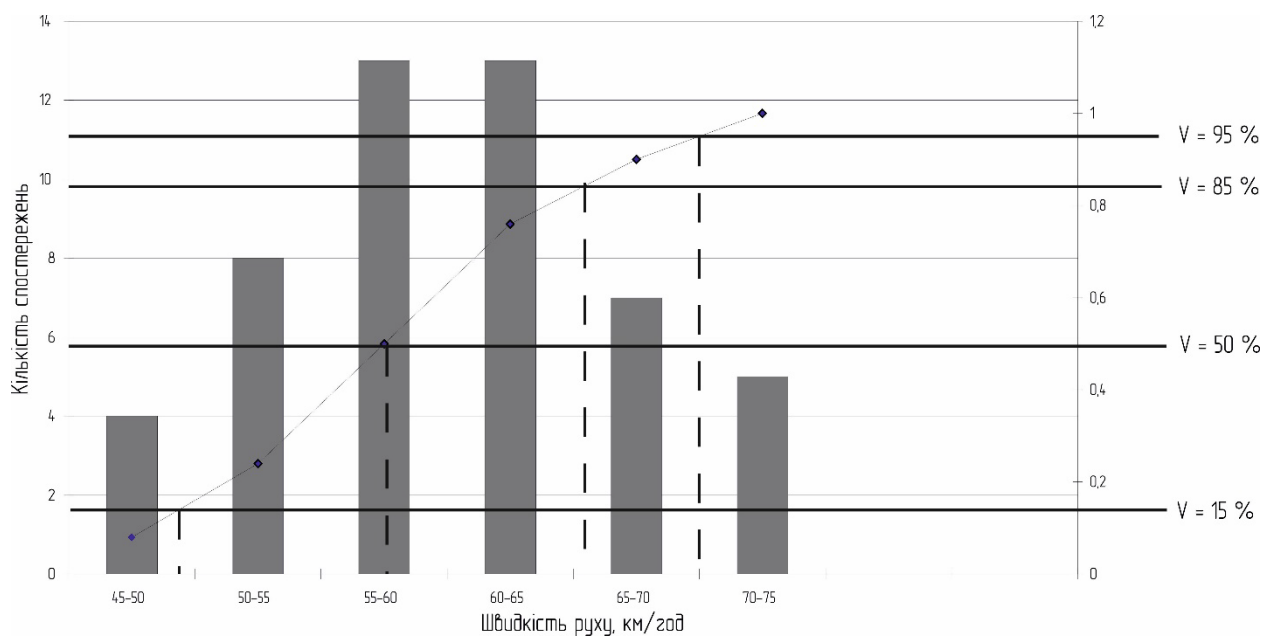


Рисунок 2.8 – Розподіл швидкостей руху вантажівок МАЗ у вільних умовах

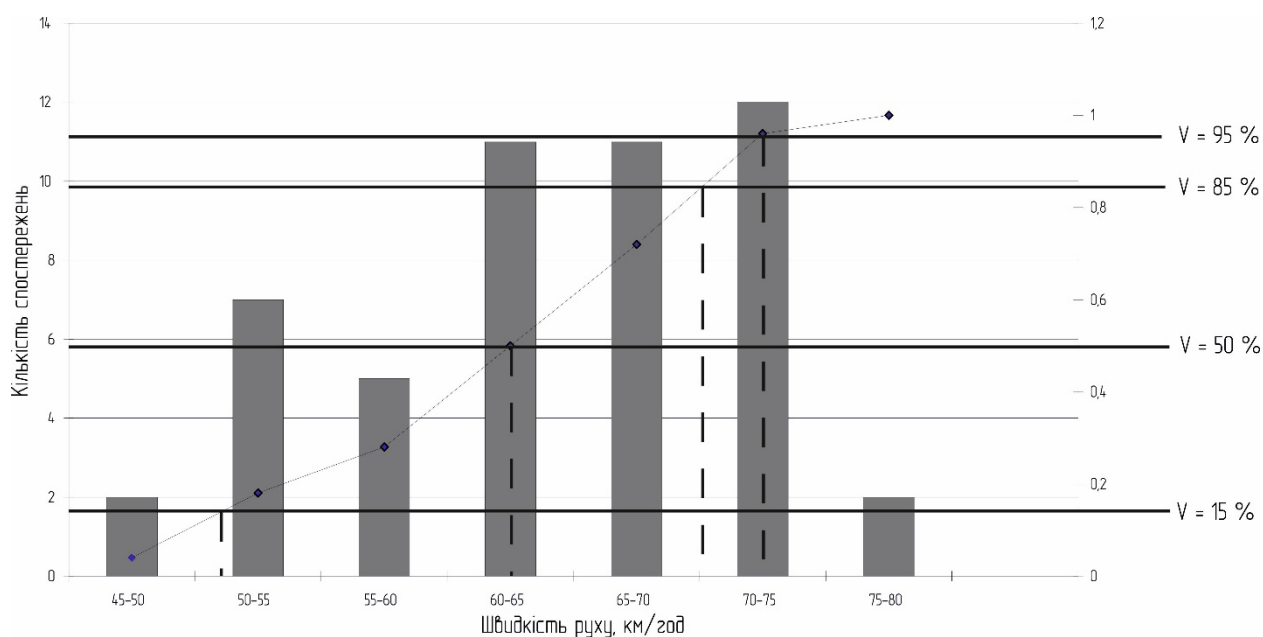


Рисунок 2.9 – Розподіл швидкостей руху автобусів Богдан у вільних умовах

Друга група швидкостей 50 % забезпеченості відображає рух основної маси транспортних засобів і фактично представляє середню швидкість руху [1].

Третя група швидкостей 85 % забезпеченості відображає рівень швидкостей найшвидших автомобілів, які рухаються з приблизно однаковою але відносно великою швидкістю, яка може бути використана для розрахунку параметрів організації руху [1].

Четверта група швидкостей 95 % забезпеченості відображають рух поодиноких найшвидших автомобілів. Здебільшого всі представники цієї групи порушують безпечний швидкісний режим руху й підвищують ризик виникнення дорожньо-транспортних пригод [1].

Таблиця 2.12 – Розподіл швидкостей руху автомобілів «джипів» в потоці

Швидкість, км/год	Середня швидкість V_i , км/год	Кількість спостере- жень у групі m_i	Частість $f_i = \frac{m_i}{\sum m_i}$	Накопичена частість $F(V)$
40-45	42,5	4	0,08	0,08
45-50	47,5	4	0,08	0,16
50-55	52,5	9	0,18	0,34
55-60	57,5	6	0,12	0,46
60-65	62,5	8	0,16	0,62
65-70	67,5	9	0,18	0,8
70-75	72,5	4	0,08	0,88
75-80	77,5	6	0,12	1

Значення середньої швидкості руху (згідно з даними таблиці 2.12):

$$\bar{V} = \frac{3040}{50} = 60.8 \text{ км/год.}$$

Таблиця 2.13 – Розподіл швидкостей руху автомобілів МАЗ в потоці

Швидкість, км/ГОД	Середня швидкість V_i , км/ГОД	Кількість спостере- жень у групі m_i	Частість $f_i = \frac{m_i}{\sum m_i}$	Накопичена частість $F(V)$
35-40	37,5	3	0,06	0,06
40-45	42,5	1	0,02	0,08
45-50	47,5	3	0,06	0,14
50-55	52,5	17	0,34	0,48
55-60	57,5	7	0,14	0,62
60-65	62,5	13	0,26	0,88
65-70	67,5	3	0,06	0,94
70-75	72,5	2	0,04	0,98
75-80	77,5	1	0,02	1

Значення середньої швидкості руху за даними таблиці 2.13:

$$\bar{V} = \frac{2830}{50} = 56.6 \text{ км/ГОД.}$$

Таблиця 2.14 – Розподіл швидкостей руху автобусів Богдан в потоці

Швидкість, км/ГОД	Середня швидкість V_i , км/ГОД	Кількість спостере- жень у групі m_i	Частість $f_i = \frac{m_i}{\sum m_i}$	Накопичена частість $F(V)$
35-40	37,5	3	0,06	0,06
40-45	42,5	2	0,04	0,1
45-50	47,5	8	0,16	0,26
50-55	52,5	9	0,18	0,44
55-60	57,5	12	0,24	0,68
60-65	62,5	3	0,06	0,74
65-70	67,5	7	0,14	0,88
70-75	72,5	2	0,04	0,92
75-80	77,5	2	0,04	0,96
80-85	82,5	2	0,04	1

Значення середньої швидкості руху за даними таблиці 2.14:

$$\bar{V} = \frac{2865}{50} = 57.3 \text{ км/год.}$$

Обробка даних швидкісних режимів руху в потоці на ділянці, що розглядається наведена на рисунках 2.10-2.12.

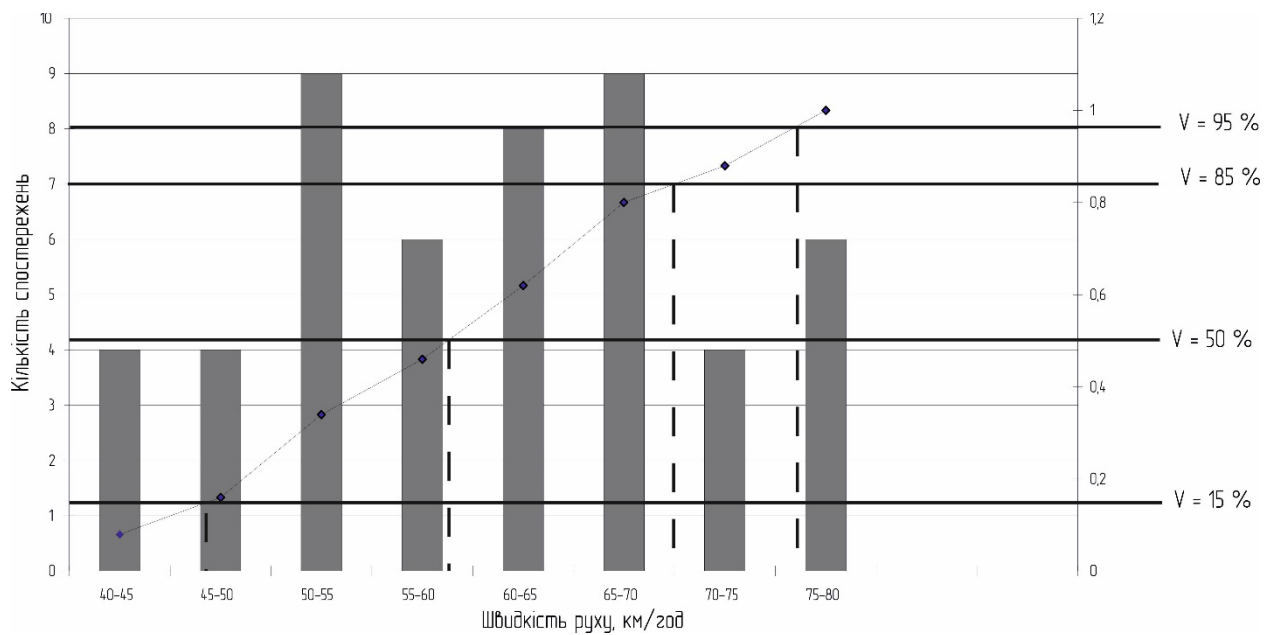


Рисунок 2.10 – Розподіл швидкостей руху «джипів» у потоці

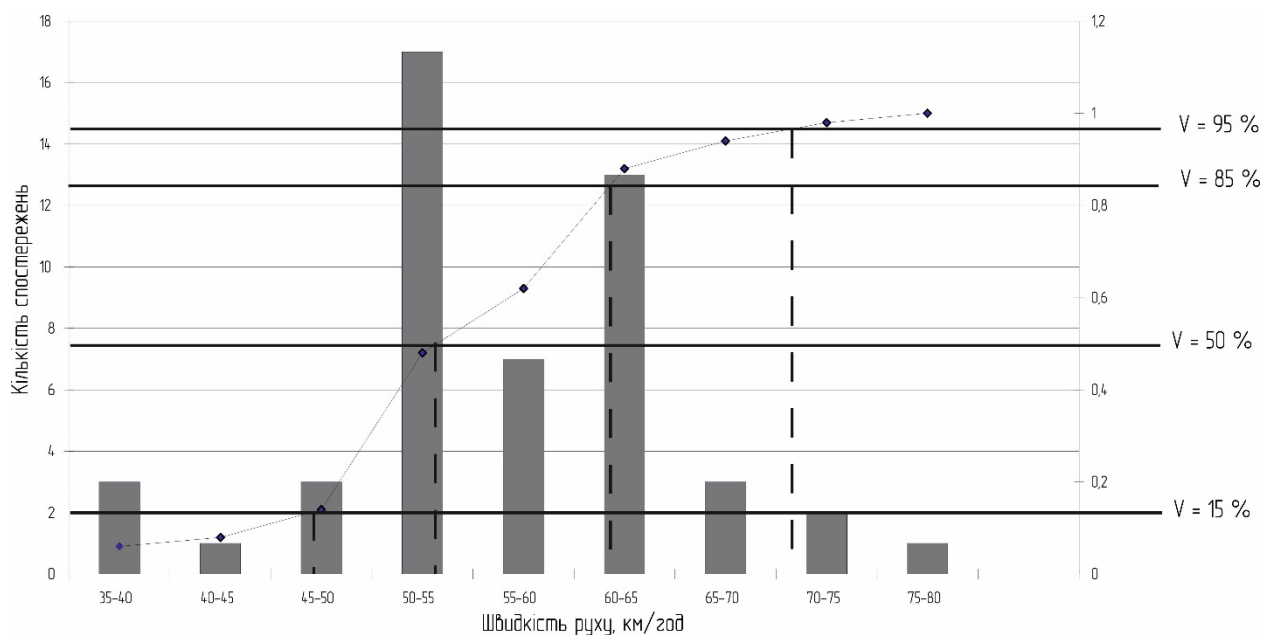


Рисунок 2.11 – Розподіл швидкостей руху вантажівок МАЗ у потоці

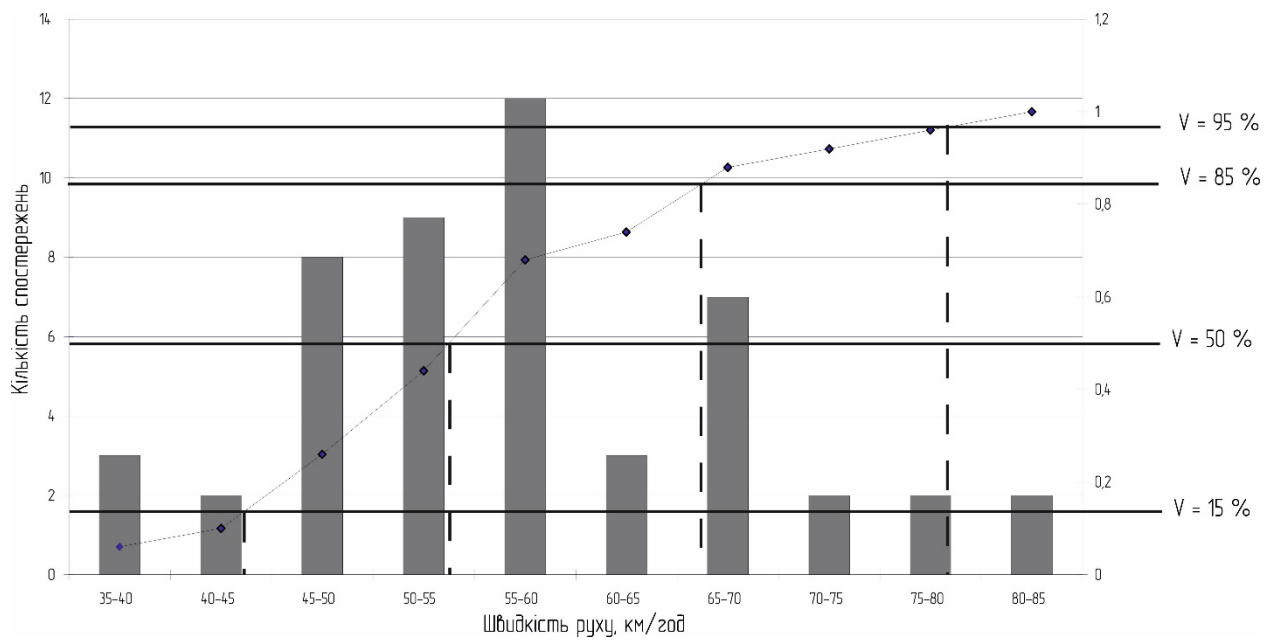


Рисунок 2.12 – Розподіл швидкостей руху автобусів Богдан у потоці

В таблиці 2.15 зведені значення швидкісних режимів руху характерних автомобілів за результатами обробки кумулятивних кривих їх швидкостей.

Таблиця 2.15 – Швидкісні характеристики автомобілів

Автомобіль	Відсоток забезпечення швидкості V			
	15	50	85	95
В режимі вільного руху				
«Джипи»	61,8	71,6	81,1	89,1
МАЗ	49,3	57,5	65,4	70,0
Богдан	51,9	62,5	70,0	72,5
В режимі руху в потоці				
«Джипи»	47,0	58,5	70,0	76,4
МАЗ	47,2	53,5	62,0	71,2
Богдан	43,3	53,8	67,2	78,1

2.2.4 Математичне моделювання параметрів транспортного потоку для сучасних умов

Адекватно оцінити ту чи іншу модель без проведення значної кількості експериментів важко. Тому пропонується оцінити не конкретні моделі, а розподіл швидкостей руху автомобілів та порівняти дані розподілу швидкостей автомобілів, що були характерними раніше з отриманими новими даними.

2.2.4.1 Розподіл швидкості руху автомобілів

Отримавши експериментальним шляхом статистичні дані швидкості руху автомобілів у вільних умовах та в потоці, необхідно обробити їх для подальшої роботи. Для цього можна скористатися методикою, що описана в п. 1 пояснювальної записки магістерської роботи, а точніше формулами (1.16) – (1.20).

Для використання цих залежностей необхідна попередня обробка зібраної статистики за наступною методикою.

На початку будується варіаційний ряд, тобто всі дані статистичного ряду швидкостей розміщуються в порядку зростання випадкової величини. Для прикладу оберемо дані таблиці 2.8 для автомобілів «джипів».

Отже варіаційний ряд швидкостей руху:

58, 59, 61, 61, 62, 63, 63, 63, 64, 64, 66, 67, 67, 68, 68, 68, 70, 70, 72, 72, 72, 73, 73, 73, 74, 74, 75, 75, 76, 76, 76, 76, 77, 78, 81, 81, 81, 81, 83, 83, 83, 84, 85, 86, 87, 87, 91, 92, 93, 95.

На другому етапі дані варіаційного ряду розбиваються на розряди. Кількість розрядів можливо розрахувати за формулою [10]:

$$K = 1 + 3,2lgN, \quad (2.2)$$

де N – кількість значень спостережених швидкостей.

$$K = 1 + 3,2lg50 = 7.$$

Далі необхідно визначити інтервал групи [10]:

$$I = \frac{N_{\max} - N_{\min}}{K}, \quad (2.3)$$

де $N_{\max}, N_{\min}$ – відповідно максимальне та мінімальне значення швидкостей.

$$I = \frac{95 - 58}{7} = 5,286.$$

Після цього виконуються розрахунки, результати яких зведені в таблиці 2.16.

Таблиця 2.16 - Обробка статистичного ряду швидкостей вільного руху автомобілів «джипів»

Групи за значеннями, N_k	Середнє значення	Кількість спостережень в групі, n_k	Вірогідність, P_k	$P_k \bar{N}_k$	$\bar{N}_k - \bar{M}$	$(\bar{N}_k - \bar{M})^2$	$(\bar{N}_k - \bar{M})^2 P_k$
58.0 – 63.3	60,65	8	0,16	9,704	-13,864	192,21	30,7536
63.4 – 68.6	66,00	8	0,16	10,56	-8,514	72,49	11,5984
68.7 – 73.9	71,30	8	0,16	11,408	-3,214	10,33	1,6528
74.0 – 79.3	76,65	10	0,20	15,33	2,136	4,56	0,912
79.4 – 84.6	82,00	8	0,16	13,12	7,486	56,04	8,9664
84.7 – 89.9	87,30	4	0,08	6,984	12,786	163,48	13,0784
90.0 – 95.2	92,6	4	0,08	7,408	18,086	327,1	26,168

		$\sum 50$	$\sum 1,0$	$\bar{M}$ =74,514			D = 93,1296
--	--	-----------	------------	----------------------	--	--	-------------

Аналогічні розрахунки потрібно зробити для кожного характерного автомобіля при його русі у вільних умовах та в транспортному потоці.

Результати розрахунків зведені в таблицях 2.17 – 2.21.

Таблиця 2.17 - Обробка статистичного ряду швидкостей вільного руху автомобілів МАЗ

Групи за значеннями, N_k	Середнє значення	Кількість спостережень в групі, n_k	Вірогідність, P_k	$P_k \bar{N}_k$	$\bar{N}_k - \bar{M}$	$(\bar{N}_k - \bar{M})^2$	$(\bar{N}_k - \bar{M})^2 P_k$
46,00 – 49,86	47,93	2	0,04	1,9172	-12,434	154,60	6,184174
49,87 – 53,72	51,795	8	0,16	8,2872	-8,569	73,43	11,74844
53,73 – 57,58	55,655	5	0,10	5,5655	-4,709	22,17	2,217468
57,59 – 61,44	59,515	15	0,30	17,854	-0,849	0,72	0,21624
61,45 – 65,30	63,375	8	0,16	10,14	3,011	9,07	1,450579
65,31 – 69,16	67,235	6	0,12	8,0682	6,871	47,21	5,665277
69,17 – 73,02	71,095	6	0,12	8,5314	10,731	115,15	13,81852
		$\sum 50$	$\sum 1,0$	$\bar{M}$ =60,364			D = 41,3007

Таблиця 2.18 - Обробка статистичного ряду швидкостей вільного руху автобусів Богдан

Групи за значеннями, N_k	Середнє значення	Кількість спостережень в групі, n_k	Вірогідність, P_k	$P_k \bar{N}_k$	$\bar{N}_k - \bar{M}$	$(\bar{N}_k - \bar{M})^2$	$(\bar{N}_k - \bar{M})^2 P_k$
1	2	3	4	5	6	7	8

47,00 – 51,43	49,215	2	0,04	1,9686	-15,6	243,310	9,732403
51,44 – 55,86	53,65	7	0,14	7,511	-11,16	124,622	17,44701
55,87 – 60,29	58,08	5	0,10	5,808	-6,733	45,3387	4,533868

Кінець таблиці 2.18

1	2	3	4	5	6	7	8
60,30 – 64,72	62,51	8	0,16	10,002	-2,303	5,30565	0,848904
64,73 – 69,15	66,94	11	0,22	14,7268	2,1266	4,52243	0,994934
69,16 – 73,58	71,37	11	0,22	15,7014	6,5566	42,989	9,457581
73,59 – 78,01	75,8	6	0,12	9,096	10,987	120,705	14,48465
		$\sum 50$	$\sum 1,0$	$\bar{M}$ =64,8134			D = 57,4994

Таблиця 2.19 - Обробка статистичного ряду швидкостей руху автомобілів «джипів» в потоці

Групи за значеннями, N_k	Середнє значення	Кількість спостережень в групі, n_k	Вірогідність, P_k	$P_k \bar{N}_k$	$\bar{N}_k - \bar{M}$	$(\bar{N}_k - \bar{M})^2$	$(\bar{N}_k - \bar{M})^2 P_k$
43,00 – 48,29	45,645	7	0,14	6,3903	-15,66	245,320	34,34482
48,30 – 53,58	50,94	8	0,16	8,1504	-10,37	107,489	17,19827
53,59 – 58,87	56,23	5	0,10	5,623	-5,078	25,7830	2,578304
58,88 – 64,16	61,52	11	0,22	13,534	0,2123	0,04507	0,009916
64,17 – 69,45	66,81	8	0,16	10,6896	5,5023	30,2753	4,844049
69,46 – 74,74	72,10	1	0,02	1,442	10,792	116,474	2,329475
74,75 – 80,03	77,39	10	0,20	15,478	16,082	258,640	51,72807
		$\sum 50$	$\sum 1,0$	$\bar{M} = 61,3077$			D = 113,033

Таблиця 2.20 - Обробка статистичного ряду швидкостей руху автомобілів МАЗ в потоці

Групи за значеннями, N_k	Середнє значення	Кількість спостережень в групі, n_k	Вірогідність, P_k	$P_k \overline{N_k}$	$\overline{N_k} - \overline{M}$	$(\overline{N_k} - \overline{M})^2$	$(\overline{N_k} - \overline{M})^2 P_k$
37,00 – 42,71	39,855	3	0,06	2,3913	-17,48	305,477	18,32862
42,72 – 48,42	45,57	2	0,04	1,8228	-11,76	138,366	5,534633
48,43 – 54,13	51,28	14	0,28	14,358	-6,053	36,6376	10,25853
54,14 – 59,84	56,99	9	0,18	10,258	-0,343	0,11758	0,021164
59,85 – 65,55	62,70	16	0,32	20,064	5,3671	28,8058	9,217844
65,56 – 71,26	68,41	4	0,08	5,4728	11,077	122,702	9,816172
71,27 – 77,00	74,135	2	0,04	2,9654	16,802	282,311	11,29242
		$\sum 50$	$\sum 1,0$	$\overline{M}$ =57,3329			D = 64,4694

Таблиця 2.21 - Обробка статистичного ряду швидкостей руху автобусів Богдан в потоці

Групи за значеннями, N_k	Середнє значення	Кількість спостережень в групі, n_k	Вірогідність, P_k	$P_k \overline{N_k}$	$\overline{N_k} - \overline{M}$	$(\overline{N_k} - \overline{M})^2$	$(\overline{N_k} - \overline{M})^2 P_k$
38,00 – 44,43	41,215	5	0,10	4,1215	-16,72	279,642	27,9642
44,44 – 50,86	47,65	8	0,16	7,624	-10,29	105,833	16,93323
50,87 – 57,29	54,08	13	0,26	14,061	-3,857	14,8803	3,86888
57,30 – 63,72	60,51	10	0,20	12,102	2,5725	6,61776	1,323551
63,73 – 70,15	66,94	8	0,16	10,7104	9,0025	81,0450	12,9672

70,16 – 76,58	73,37	2	0,04	2,9348	15,432	238,162	9,526482
76,59 – 83,01	79,80	4	0,08	6,384	21,862	477,969	38,23751
		Σ 50	Σ 1,0	$\overline{M}$ =57,9375			D = 110,821

У таблиці 2.22 зведені значення статистичної обробки вимірювань швидкості характерних автомобілів за формулами (1.16) – (1.20).

Таблиця 2.22 – Результати статистичної обробки

Автомобіль	Параметри			
	m, км/год	σ	λ	K
В режимі вільного руху				
«Джипи»	74,51	9,65	0,80	58,62
МАЗ	60,36	6,43	1,46	88,12
Богдан	64,81	7,58	1,13	73,10
В режимі руху в потоці				
«Джипи»	61,31	10,63	0,54	33,26
МАЗ	57,33	8,03	0,89	50,97
Богдан	57,94	10,53	0,52	30,28

Для теоретичного аналізу і практичного використання важливо встановити ступінь близькості емпіричних розподілів до того або іншого виду аналітичного. Як критерій близькості емпіричного і теоретичного розподілів прийнятий критерій згоди Пірсону. При цьому обчислюють міру розбіжності χ^2 і число мір свободи [10]:

$$r = S - d, \quad (2.4)$$

де S – кількість розрядів емпіричного розподілу;

d – число накладених зв'язків (приймається рівним 3 [10]).

Для спрощення розрахунків пропонується використати програмний продукт для роботи із статистичною інформацією – Statistica 5.77.

Результати розрахунків приведені на рисунках 2.13 – 2.24.

Upper Boundary	observed freq-cy	cumulatv observed	percent observed	cumul. % observed	expected freq-cy	cumulatv expected	percent expected	cumul. % expected	observed-expected
<=49,857	2	2	4,00000	4,0000	2,81031	2,81031	5,62062	5,6206	-,81031
53,7143	8	10	16,00000	20,0000	4,87521	7,68552	9,75043	15,3710	3,12479
57,5714	5	15	10,00000	30,0000	8,56282	16,24834	17,12563	32,4967	-3,56282
61,4286	15	30	30,00000	60,0000	10,99970	27,24804	21,99940	54,4961	4,00030
65,2857	8	38	16,00000	76,0000	10,33513	37,58318	20,67027	75,1664	-2,33513
69,1429	6	44	12,00000	88,0000	7,10256	44,68573	14,20512	89,3715	-1,10256
Infinity	6	50	12,00000	100,0000	5,31427	50,00000	10,62853	100,0000	,68573

Рисунок 2.13 – Результати тесту підгонки законів розподілу швидкості вільного руху автомобілів «джипів» (нормальний закон)

Upper Boundary	observed freq-cy	cumulatv observed	percent observed	cumul. % observed	expected freq-cy	cumulatv expected	percent expected	cumul. % expected	observed-expected
<=63,286	8	8	16,00000	16,0000	5,53031	5,53031	11,06062	11,0606	2,46969
68,5714	8	16	16,00000	32,0000	7,98791	13,51822	15,97581	27,0364	,01209
73,8571	8	24	16,00000	48,0000	10,86348	24,38169	21,72696	48,7634	-2,86348
79,1429	10	34	20,00000	68,0000	10,58694	34,96864	21,17388	69,9373	-,58694
84,4286	8	42	16,00000	84,0000	7,71343	42,68206	15,42686	85,3641	,28657
89,7143	4	46	8,00000	92,0000	4,35077	47,03284	8,70155	94,0657	-,35077
Infinity	4	50	8,00000	100,0000	2,96716	50,00000	5,93432	100,0000	1,03284

Рисунок 2.14 – Результати тесту підгонки законів розподілу швидкості вільного руху автомобілів «джипів» (гамма-розподіл)

STATISTICA File Server

File Edit View Analysis Graphs Options Window Help

7.

Columns Rows

Variable VAR1 ; distribution: Normal (new.sta)

NONPAR Kolmogorov-Smirnov d = ,0945801, p = n.s.

STATS Chi-Square: 11,06620, df = 4, p = ,0258472

Upper Boundary	observed freq-cy	cumulativ observed	percent observed	cumul. % observed	expected freq-cy	cumulativ expected	percent expected	cumul. % expected	observed-expected
<=48,286	7	7	14,00000	14,0000	5,584122	5,58412	11,16824	11,1682	1,41588
53,5714	8	15	16,00000	30,0000	6,144801	11,72892	12,28960	23,4578	1,85520
58,8571	5	20	10,00000	40,0000	8,721939	20,45086	17,44388	40,9017	-3,72194
64,1429	11	31	22,00000	62,0000	9,748938	30,19980	19,49788	60,3996	1,25106
69,4286	8	39	16,00000	78,0000	8,581168	38,78097	17,16234	77,5619	-,58117
74,7143	1	40	2,00000	80,0000	5,948037	44,72900	11,89607	89,4580	-4,94804
Infinity	10	50	20,00000	100,0000	5,270995	50,00000	10,54199	100,0000	4,72900

Рисунок 2.15 – Результати тесту підгонки законів розподілу швидкості руху автомобілів «джипів» у потоці (нормальний закон)

STATISTICA File Server

File Edit View Analysis Graphs Options Window Help

7.

Columns Rows

Variable VAR1 ; distribution: Gamma (new.sta)

NONPAR Kolmogorov-Smirnov d = ,0900812, p = n.s.

STATS Chi-Square: 10,22035, df = 4, p = ,0368954

Upper Boundary	observed freq-cy	cumulativ observed	percent observed	cumul. % observed	expected freq-cy	cumulativ expected	percent expected	cumul. % expected	observed-expected
<=48,286	7	7	14,00000	14,0000	5,223359	5,22336	10,44672	10,4467	1,77664
53,5714	8	15	16,00000	30,0000	6,913089	12,13645	13,82618	24,2729	1,08691
58,8571	5	20	10,00000	40,0000	9,397191	21,53364	18,79438	43,0673	-4,39719
64,1429	11	31	22,00000	62,0000	9,698146	31,23178	19,39629	62,4636	1,30185
69,4286	8	39	16,00000	78,0000	7,938579	39,17036	15,87716	78,3407	,06142
74,7143	1	40	2,00000	80,0000	5,333695	44,50406	10,66739	89,0081	-4,33369
Infinity	10	50	20,00000	100,0000	5,495942	50,00000	10,99188	100,0000	4,50406

Рисунок 2.16 – Результати тесту підгонки законів розподілу швидкості руху автомобілів «джипів» у потоці (гамма-розподіл)

STATISTICA File Server

File Edit View Analysis Graphs Options Window Help

2.

Columns Rows

Variable VAR1 ; distribution: Normal (new.sta)

NONPAR Kolmogorov-Smirnov d = ,0550392, p = n.s.

STATS Chi-Square: 4,421461, df = 3, p = ,2194254 (df adjusted)

Upper Boundary	observed freq-cy	cumulativ observed	percent observed	cumul. % observed	expected freq-cy	cumulativ expected	percent expected	cumul. % expected	observed-expected
<=49,857	2	2	4,00000	4,0000	2,81031	2,81031	5,62062	5,6206	-,81031
53,7143	8	10	16,00000	20,0000	4,87521	7,68552	9,75043	15,3710	3,12479
57,5714	5	15	10,00000	30,0000	8,56282	16,24834	17,12563	32,4967	-3,56282
61,4286	15	30	30,00000	60,0000	10,99970	27,24804	21,99940	54,4961	4,00030
65,2857	8	38	16,00000	76,0000	10,33513	37,58318	20,67027	75,1664	-2,33513
69,1429	6	44	12,00000	88,0000	7,10256	44,68573	14,20512	89,3715	-1,10256
Infinity	6	50	12,00000	100,0000	5,31427	50,00000	10,62853	100,0000	,68573

Рисунок 2.17 – Результати тесту підгонки законів розподілу швидкості вільного руху автомобілів МАЗ (нормальний закон)

STATISTICA File Server

File Edit View Analysis Graphs Options Window Help

2. Columns Rows

Variable VAR1 ; distribution: Gamma (new.sta)

NONPAR Kolmogorov-Smirnov d = ,0469172, p = n.s.
STATS Chi-Square: 4,379723, df = 3, p = ,2232946 (df adjusted)

Upper Boundary	observed freq-cy	cumulatv observed	percent observed	cumul. % observed	expected freq-cy	cumulatv expected	percent expected	cumul. % expected	observed-expected
<=49,857	2	2	4,00000	4,0000	2,45958	2,45958	4,91915	4,9192	-,45958
53,7143	8	10	16,00000	20,0000	5,19456	7,65414	10,38912	15,3083	2,80544
57,5714	5	15	10,00000	30,0000	9,14208	16,79622	18,28416	33,5924	-4,14208
61,4286	15	30	30,00000	60,0000	11,17955	27,97577	22,35909	55,9515	3,82045
65,2857	8	38	16,00000	76,0000	9,91962	37,89539	19,83925	75,7908	-1,91962
69,1429	6	44	12,00000	88,0000	6,62134	44,51672	13,24267	89,0334	-,62134
Infinity	6	50	12,00000	100,0000	5,48327	50,00000	10,96655	100,0000	,51673

Рисунок 2.18 – Результати тесту підгонки законів розподілу швидкості вільного руху автомобілів МАЗ (гамма-розподіл)

STATISTICA File Server

File Edit View Analysis Graphs Options Window Help

3. Columns Rows

Variable VAR1 ; distribution: Normal (new.sta)

NONPAR Kolmogorov-Smirnov d = ,0639617, p = n.s.
STATS Chi-Square: 6,090414, df = 2, p = ,0476002 (df adjusted)

Upper Boundary	observed freq-cy	cumulatv observed	percent observed	cumul. % observed	expected freq-cy	cumulatv expected	percent expected	cumul. % expected	observed-expected
<=42,714	3	3	6,00000	6,0000	1,98862	1,98862	3,97724	3,9772	1,01138
48,4286	2	5	4,00000	10,0000	5,19926	7,18788	10,39852	14,3758	-3,19926
54,1429	14	19	28,00000	38,0000	10,52515	17,71303	21,05030	35,4261	3,47485
59,8571	9	28	18,00000	56,0000	13,48506	31,19808	26,97012	62,3962	-4,48506
65,5714	16	44	32,00000	88,0000	10,93729	42,13538	21,87458	84,2708	5,06271
71,2857	4	48	8,00000	96,0000	5,61460	47,74998	11,22921	95,5000	-1,61460
Infinity	2	50	4,00000	100,0000	2,25002	50,00000	4,50004	100,0000	-,25002

Рисунок 2.19 – Результати тесту підгонки законів розподілу швидкості руху автомобілів МАЗ в потоці (нормальний закон)

STATISTICA File Server

File Edit View Analysis Graphs Options Window Help

3. Columns Rows

Variable VAR1 ; distribution: Gamma (new.sta)

NONPAR Kolmogorov-Smirnov d = ,0792182, p = n.s.
STATS Chi-Square: 6,669481, df = 2, p = ,0356362 (df adjusted)

Upper Boundary	observed freq-cy	cumulatv observed	percent observed	cumul. % observed	expected freq-cy	cumulatv expected	percent expected	cumul. % expected	observed-expected
<=42,714	3	3	6,00000	6,0000	1,58297	1,58297	3,16593	3,1659	1,41703
48,4286	2	5	4,00000	10,0000	5,62700	7,20997	11,25400	14,4199	-3,62700
54,1429	14	19	28,00000	38,0000	11,37197	18,58193	22,74394	37,1639	2,62803
59,8571	9	28	18,00000	56,0000	13,37898	31,96091	26,75795	63,9218	-4,37898
65,5714	16	44	32,00000	88,0000	10,08386	42,04478	20,16773	84,0896	5,91614
71,2857	4	48	8,00000	96,0000	5,23753	47,28230	10,47505	94,5646	-1,23753
Infinity	2	50	4,00000	100,0000	2,71770	50,00000	5,43540	100,0000	-,71770

Рисунок 2.20 – Результати тесту підгонки законів розподілу швидкості руху автомобілів МАЗ в потоці (гамма-розподіл)

STATISTICA File Server

File Edit View Analysis Graphs Options Window Help

2.

Columns Rows

Variable VAR1 ; distribution: Normal (new.sta)

NONPAR Kolmogorov-Smirnov d = ,0613406, p = n.s.
STATS Chi-Square: 4,467935, df = 3, p = ,2151902 (df adjusted)

Upper Boundary	observed freq-cy	cumulatv observed	percent observed	cumul. % observed	expected freq-cy	cumulatv expected	percent expected	cumul. % expected	observed-expected
<=51,429	2	2	4,00000	4,0000	1,94748	1,94748	3,89495	3,8950	,05252
55,8571	7	9	14,00000	18,0000	3,98549	5,93297	7,97099	11,8659	3,01451
60,2857	5	14	10,00000	28,0000	7,77267	13,70564	15,54533	27,4113	-2,77267
64,7143	8	22	16,00000	44,0000	10,91284	24,61848	21,82569	49,2370	-2,91284
69,1429	11	33	22,00000	66,0000	11,03144	35,64993	22,06289	71,2999	-,03144
73,5714	11	44	22,00000	88,0000	8,02888	43,67880	16,05776	87,3576	2,97112
Infinity	6	50	12,00000	100,0000	6,32120	50,00000	12,64239	100,0000	-,32120

Рисунок 2.21 – Результати тесту підгонки законів розподілу швидкості вільного руху автобусів Богдан (нормальний закон)

STATISTICA File Server

File Edit View Analysis Graphs Options Window Help

2.

Columns Rows

Variable VAR1 ; distribution: Gamma (new.sta)

NONPAR Kolmogorov-Smirnov d = ,0682732, p = n.s.
STATS Chi-Square: 5,646776, df = 3, p = ,1301417 (df adjusted)

Upper Boundary	observed freq-cy	cumulatv observed	percent observed	cumul. % observed	expected freq-cy	cumulatv expected	percent expected	cumul. % expected	observed-expected
<=51,429	2	2	4,00000	4,0000	1,64918	1,64918	3,29836	3,2984	,35082
55,8571	7	9	14,00000	18,0000	4,23914	5,88832	8,47827	11,7766	2,76086
60,2857	5	14	10,00000	28,0000	8,36495	14,25327	16,72991	28,5065	-3,36495
64,7143	8	22	16,00000	44,0000	11,16039	25,41366	22,32077	50,8273	-3,16039
69,1429	11	33	22,00000	66,0000	10,58990	36,00356	21,17980	72,0071	,41010
73,5714	11	44	22,00000	88,0000	7,44945	43,45301	14,89890	86,9060	3,55055
Infinity	6	50	12,00000	100,0000	6,54699	50,00000	13,09399	100,0000	-,54699

Рисунок 2.22 – Результати тесту підгонки законів розподілу швидкості вільного руху автобусів Богдан (гамма-розподіл)

STATISTICA File Server

File Edit View Analysis Graphs Options Window Help

5.

Columns Rows

Variable VAR1 ; distribution: Normal (new.sta)

NONPAR Kolmogorov-Smirnov d = ,0622238, p = n.s.
STATS Chi-Square: ,9168749, df = 2, p = ,6322750 (df adjusted)

Upper Boundary	observed freq-cy	cumulatv observed	percent observed	cumul. % observed	expected freq-cy	cumulatv expected	percent expected	cumul. % expected	observed-expected
<=44,429	5	5	10,00000	10,0000	4,95103	4,95103	9,90206	9,9021	,04897
50,8571	8	13	16,00000	26,0000	7,20038	12,15141	14,40075	24,3028	,79962
57,2857	13	26	26,00000	52,0000	10,73740	22,88881	21,47480	45,7776	2,26260
63,7143	10	36	20,00000	72,0000	11,41076	34,29957	22,82152	68,5991	-1,41076
70,1429	8	44	16,00000	88,0000	8,64192	42,94149	17,28384	85,8830	-,64192
76,5714	2	46	4,00000	92,0000	4,66385	47,60534	9,32770	95,2107	-2,66385
Infinity	4	50	8,00000	100,0000	2,39466	50,00000	4,78932	100,0000	1,60534

Рисунок 2.23 – Результати тесту підгонки законів розподілу швидкості руху автобусів Богдан в потоці (нормальний закон)

Variable VAR1 ; distribution: Gamma (new.sta)

NONPAR Kolmogorov-Smirnov d = ,0386291, p = n.s.
 STATS Chi-Square: ,4474815, df = 2, p = ,7995237 (df adjusted)

Upper Boundary	observed freq-cy	cumulatv observed	percent observed	cumul. % observed	expected freq-cy	cumulatv expected	percent expected	cumul. % expected	observed-expected
<=44,429	5	5	10,00000	10,0000	4,32053	4,32053	8,64106	8,6411	,67947
50,8571	8	13	16,00000	26,0000	8,14282	12,46335	16,28564	24,9267	-,14282
57,2857	13	26	26,00000	52,0000	11,60520	24,06855	23,21039	48,1371	1,39480
63,7143	10	36	20,00000	72,0000	11,16254	35,23109	22,32508	70,4622	-1,16254
70,1429	8	44	16,00000	88,0000	7,81359	43,04468	15,62718	86,0894	,18641
76,5714	2	46	4,00000	92,0000	4,20957	47,25425	8,41914	94,5085	-2,20957
Infinity	4	50	8,00000	100,0000	2,74575	50,00000	5,49150	100,0000	1,25425

Рисунок 2.24 – Результати тесту підгонки законів розподілу швидкості руху автобусів Богдан в потоці (гамма-розподіл)

Аналіз цих рисунків показує, що вірогідність P розбіжності емпіричного і аналітичного розподілів практично в усіх випадках має належні для відповідності закону розподілу значення. Тому можна вважати прийнятним з однаковою мірою достовірності як нормальний розподіл, так і гамма-розподіл.

Графічна обробка відповідності емпіричних даних певному закону розподілу наведена в додатку А магістерської роботи.

Загальний метод знаходження розподілу швидкості як випадкової величини ґрунтується на наступних положеннях [6].

Позначимо через $f(v)$ і $\phi(v)$ відповідно щільності вірогідності швидкості вільного руху і швидкості руху автомобілів в потоці. Щільність вірогідності $f(v)$ на конкретній ділянці дороги може бути одержана по формулах (1.16), (1.17) з урахуванням даних табл. 2.22 [6].

Функція $\phi(v)$ визначається щільністю вільного руху $f(v)$ і різноманіттям ситуацій, що виникають в потоці. Як досліджуваний окремий автомобіль вибирають автомобіль типу V , швидкість якого при вільному русі знаходиться в межах $V, \Delta v + V$ [6].

Частина часу (шляху) автомобіль типу V може рухатися із швидкістю вільного руху, наздоганяючи автомобіль, що йде попереду. Наздогнавши такий автомобіль, водій автомобіля типу v намагається здійснити обгін, якщо це дозволяє відстань до автомобіля зустрічного потоку. Таким чином, частина часу

(шляху) автомобіль типу v проходить з швидкістю менше за v , слідуючи за автомобілем, що йде попереду, в очікуванні обгону [6].

Позначимо через $P(v)$ вірогідність збереження бажаної швидкості вільного руху, через U - випадкову величину швидкості автомобіля типу V в потоці. Тоді [10]:

$$P(U < v) = 1 - P(v), \quad (2.5)$$

де $P(U < v)$ - вірогідність руху автомобіля типу v зі швидкістю $U < v$.

Диференціюванням виразу (2.5) визначають щільність вірогідності швидкості автомобіля типу V в потоці [6]:

$$\psi(U) = \begin{cases} -P'(U) & \text{для } 0 < U < v \\ P(U) & \text{для } v < U < v + \Delta v \end{cases}. \quad (2.6)$$

Щільність $\phi(v)$ швидкості всього потоку знаходять таким чином. При вільному русі в інтервал від V до $V + \Delta V$ потрапляє частина автомобілів, рівна $f(v) \Delta v$. У потоці, згідно формулі (3.4), швидкість вільного руху збереже частина автомобілів $P(v) f(v) \Delta v$ [6].

З швидкістю ж більше за v рухається інша частина автомобілів: $1 - F(v)$. Тут $F(v)$ - розподіл вірогідності швидкості вільного руху. Як відомо [10]:

$$F(v) = \int_0^v f(U) dU. \quad (2.7)$$

Позначимо будь-який автомобіль з частини потоку $1 - F(v)$ як автомобіль типу W , при цьому $W > v$. Будь-який автомобіль типу W у потоці може рухатися або вільно з швидкістю W , або з меншою швидкістю, у тому числі і з швидкістю від v до $V + \Delta v$. Автомобіль типу W рухається в потоці з швидкістю від

v до $v + \Delta v$ з вірогідністю - $P'(v) \Delta v$. Оскільки частина автомобілів типу W дорівнює $1 - F(v)$, то для таких автомобілів сумарна вірогідність мати швидкість в межах від v до $v + \Delta v$ дорівнює - $[1 - F(v)] P'(v) \Delta v$. Підсумовуючи $P(v) f(v) \Delta v$ і $[1 - F(v)] P'(v) \Delta v$, одержуємо частину автомобілів, що мають в потоці швидкість в межах від v до $v + \Delta v$ [6].

Тому щільність вірогідності швидкості всього, потоку має вигляд [6]:

$$\varphi(v) = P(v) f(v) - [1 - F(v)] P'(v). \quad (2.8)$$

Функція розподілу швидкості потоку знаходиться інтегруванням (2.8) [6]:

$$\hat{O}(v) = 1 - [1 - F(v)] P(v). \quad (2.9)$$

Таким чином, розподіл швидкості автомобілів в потоці визначається: розподілом швидкості вільного руху $f(v)$ або $F(v)$. Вид цих функцій і конкретні їх параметри приведені вище.

2.2.4.2 Рух окремих автомобілів у потоці

Як було показано в п. 2.4.1, в потоці певної щільності частину часу автомобіль рухається, зберігаючи швидкість вільного руху v , а решту часу з швидкістю, меншою v . Знаючи відносну величину часу, протягом якої зберігається швидкість вільного руху v , тобто вірогідність $P(v)$, можна обчислити:

середню швидкість руху автомобіля типу V [6]:

$$m(v) = \int_0^v U \cdot \psi(U) dU = \int_0^v P(U) dU, \quad (2.10)$$

де $\psi(U)$ - щільність вірогідності швидкості автомобіля типу v в потоці (див. формулу (2.6));

середню швидкість автомобілів окремої групи [6]:

$$m_j = \int_0^{\infty} v \cdot \varphi_j(v) dv = \int_0^{\infty} [1 - F_j(v)] P(v) dv, \quad (2.11)$$

де j – номер групи автомобілів;

$\varphi_j(v)$ - щільність вірогідності швидкості в потоці автомобілів групи j ;

$F_j(v)$ - розподіл швидкості вільного руху автомобілів групи j ;

середній час руху ділянкою довжиною l автомобіля типу v [6]:

$$t(v) = l \left[\frac{1}{v} P(v) - \int_0^v \frac{1}{U} P'(U) dU \right]; \quad (2.12)$$

середній час руху ділянкою довжиною l автомобілів певної групи j [6]:

$$t_j = l \int_0^{\infty} \frac{1}{v} \varphi_j(v) dv. \quad (2.13)$$

Таким чином, для обчислення характеристик руху автомобілів в потоці початковими даними служать: розподіл швидкості вільного руху $F(v)$ і вірогідність $P(v)$. Розподіл $F(v)$ залежно від дорожніх умов і складу потоку визначається по формулах (1.16), (1.29) і табл. 2.23. Вірогідність $P(v)$ може бути визначена як на основі розрахунку, так і з експериментальних даних [6].

Якщо експериментально одержані розподіли швидкості вільного руху $F(v)$ і в потоці $\Phi(v)$, то вірогідність $P(v)$ може бути знайдена з формули (2.9). З

формули (2.9) виходить, що [6]:

$$P(v) = \frac{1 - \hat{O}(v)}{1 - F(v)}. \quad (2.14)$$

У таблиці 2.23 приведені результати спостережень за швидкістю при вільному русі.

Таблиця 2.23 – Результати спостережень

Інтервали швидкості, км/год	Кількість автомобілів, од					
	«джипи»		МАЗ		Богдан	
	Потік	Вільний рух	Потік	Вільний рух	Потік	Вільний рух
36 – 40	-	-	3	-	3	-
40,1 – 44	2	-	1	-	2	-
44,1 – 48	5	-	1	2	2	1
48,1 – 52	7	-	8	4	6	2
52,1 – 56	5	-	11	7	10	7
56,1 – 60	4	2	7	12	11	4
60,1 – 64	8	8	10	11	3	8
64,1 – 68	8	6	6	6	2	7
68,1 – 72	1	5	1	7	6	11
72,1 – 76	6	11	1	1	2	8
76,1 – 80	4	2	1	-	2	2
80,1 – 84	-	8	-	-	1	-
84,1 – 88	-	4	-	-	-	-
88,1 – 92	-	2	-	-	-	-
92,1 - 96	-	2	-	-	-	-

Обробляючи статистично результати спостережень, можна одержати

розподіл вірогідності швидкості: $F(v)$ - вільного руху і $\Phi(v)$ - в потоці. Ця вірогідність приведена таблиці 2.24.

Таблиця 2.24 – Розподіл вірогідностей швидкості

Інтервали швидкості, км/год	Кількість автомобілів, од					
	«джипи»		МАЗ		Богдан	
	$F_1(v)$	$\Phi_1(v)$	$F_2(v)$	$\Phi_2(v)$	$F_3(v)$	$\Phi_3(v)$
36 – 40	-	-	-	0,06	-	0,06
40,1 – 44	-	0,04	-	0,08	-	0,1
44,1 – 48	-	0,14	0,04	0,1	0,02	0,14
48,1 – 52	-	0,28	0,12	0,26	0,06	0,26

Кінець таблиці 2.24

Інтервали швидкості, км/год	Кількість автомобілів, од					
	«джипи»		МАЗ		Богдан	
	$F_1(v)$	$\Phi_1(v)$	$F_2(v)$	$\Phi_2(v)$	$F_3(v)$	$\Phi_3(v)$
52,1 – 56	-	0,38	0,26	0,48	0,2	0,46
56,1 – 60	0,04	0,46	0,5	0,62	0,28	0,68
60,1 – 64	0,2	0,62	0,72	0,82	0,44	0,74
64,1 – 68	0,32	0,78	0,84	0,94	0,58	0,78
68,1 – 72	0,42	0,8	0,98	0,96	0,8	0,9
72,1 – 76	0,64	0,92	1	0,98	0,96	0,94
76,1 – 80	0,68	1	-	1	1	0,98
80,1 – 84	0,84	-	-	-	-	1
84,1 – 88	0,92	-	-	-	-	-
88,1 – 92	0,96	-	-	-	-	-
92,1 – 96	1	-	-	-	-	-

Аналогічним чином можна отримати результати розрахунків для всього потоку. Вони приведені в таблиці 2.25.

Таблиця 2.25 – Розподіл вірогідностей швидкості у потоці

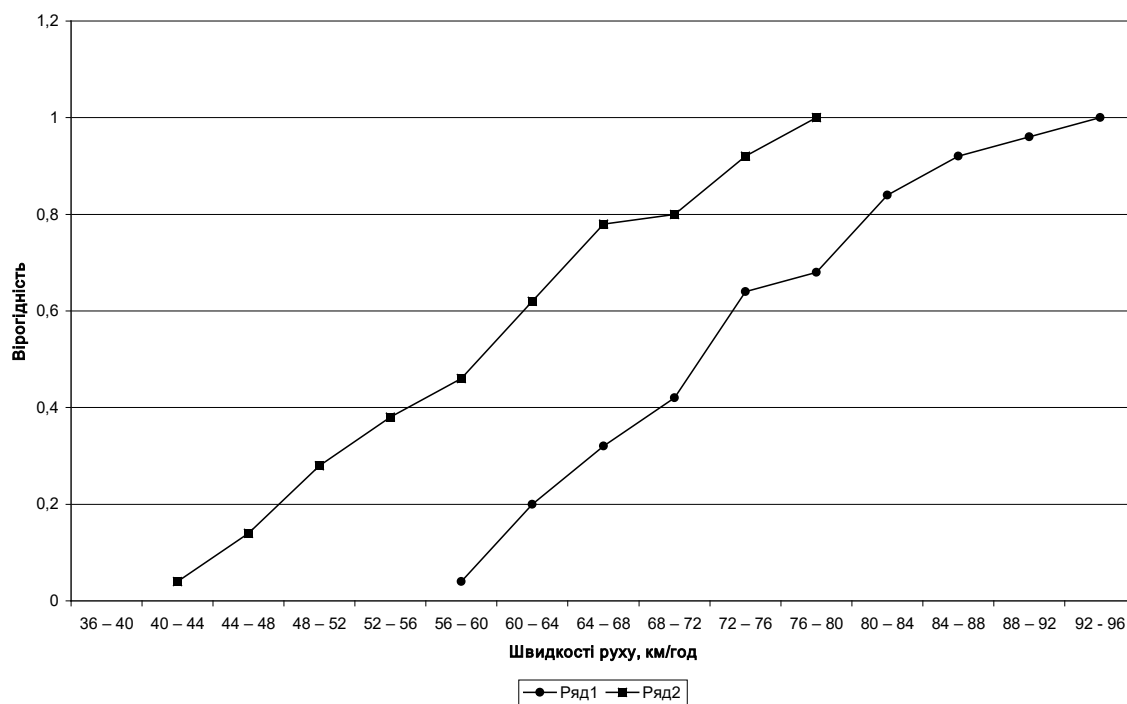
Інтервали швидкості, км/год	Кількість автомобілів, од	
	$F_1(v)$	$\Phi_1(v)$
36,0 – 40	-	0,04
40,1 – 44	-	0,073
44,1 – 48	0,02	0,126
48,1 – 52	0,06	0,266
52,1 – 56	0,153	0,439
56,1 – 60	0,273	0,586
60,1 – 64	0,453	0,726
64,1 – 68	0,58	0,833
68,1 – 72	0,711	0,883

Кінець таблиці 2.25

Інтервали швидкості, км/год	Кількість автомобілів, од	
	$F_1(v)$	$\Phi_1(v)$
72,1 – 76	0,844	0,943
76,1 – 80	0,864	0,99
80,1 – 84	0,917	1
84,1 – 88	0,944	-
88,1 – 92	0,977	-
92,1 - 96	1	-

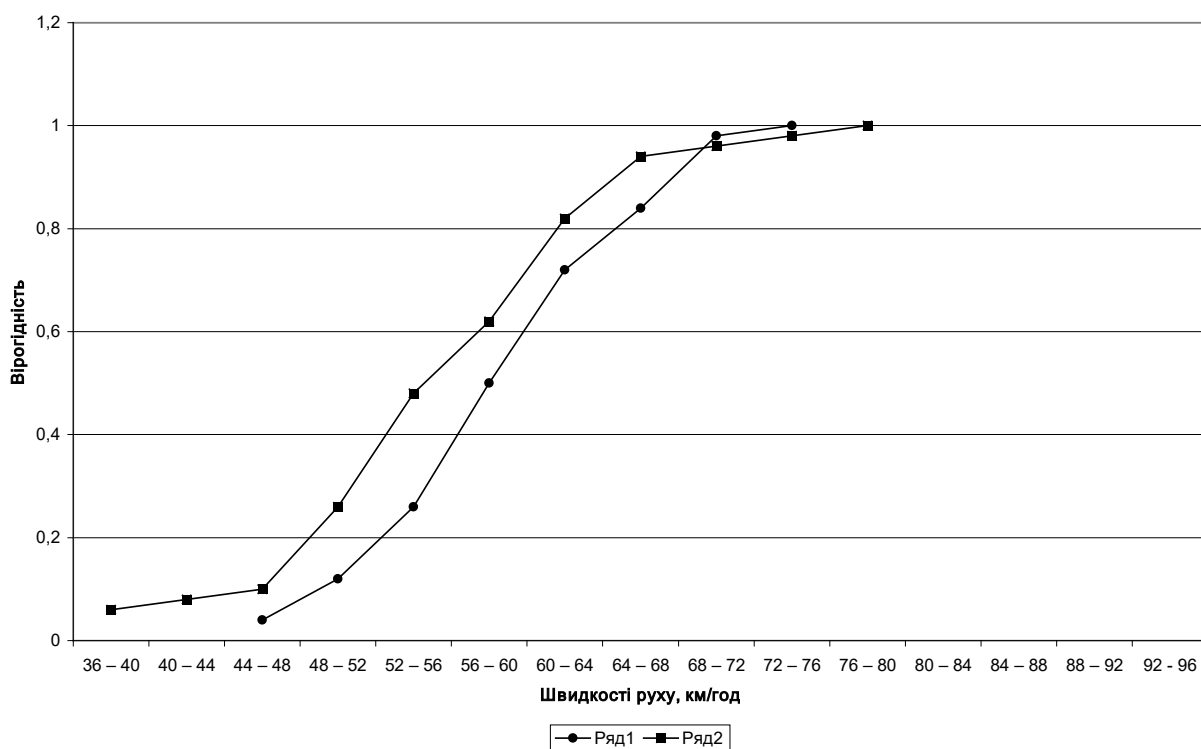
Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок про відсутність зв'язку між вірогідністю $P(v)$ і типом автомобіля. Практично вірогідність $P(v)$ залежить від величини швидкості вільного руху. Цю цікаву обставину можна пояснити великою потужністю і високими динамічними якостями сучасних автомобілів.

На рисунках 2.25 – 2.28 наведені графіки розподілу вірогідностей швидкості характерних автомобілів за даними таблиці 2.25.



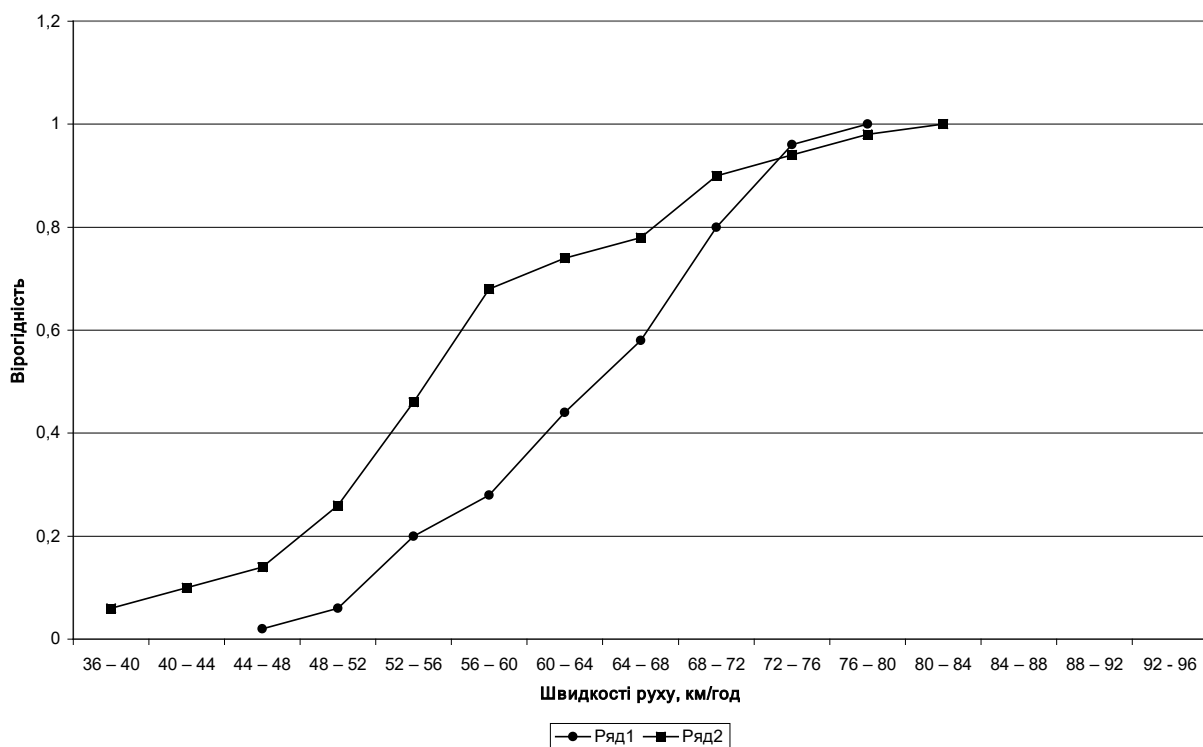
ряд 1 – $F(v)$; ряд 2 – $\Phi(v)$

Рисунок 2.25 - Розподіл вірогідностей швидкостей руху автомобілів «джипів»



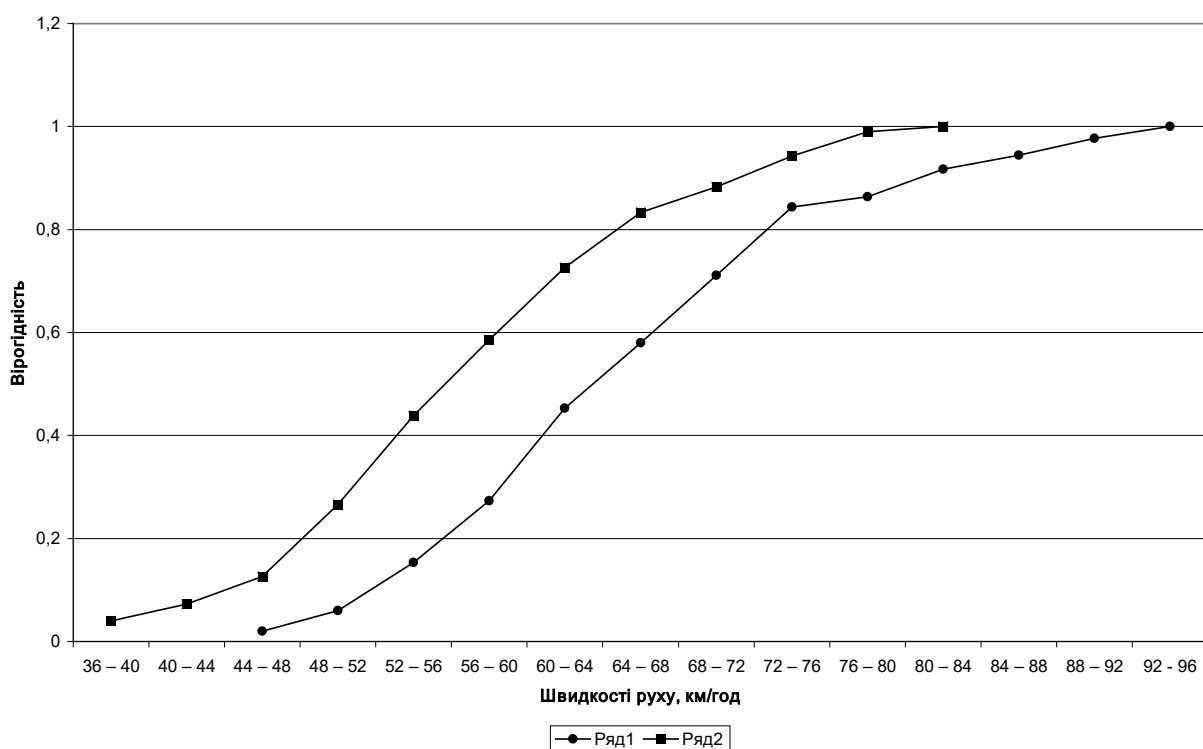
ряд 1 – $F(v)$; ряд 2 – $\Phi(v)$

Рисунок 2.26 - Розподіл вірогідностей швидкостей руху автомобілів МАЗ



ряд 1 – $F(v)$; ряд 2 – $\Phi(v)$

Рисунок 2.27 - Розподіл вірогідностей швидкостей руху автобусів Богдан



ряд 1 – швидкості вільного руху; ряд 2 – швидкості у потоці

Рисунок 2.28 – Розподіл вірогідностей швидкостей руху всіх автомобілів

У [6] наведена аналогічна таблиця розподілів швидкостей руху для характерних раніше автомобілів. Дані стосовно трьох характерних автомобілів того часу наведені у таблиці 2.26.

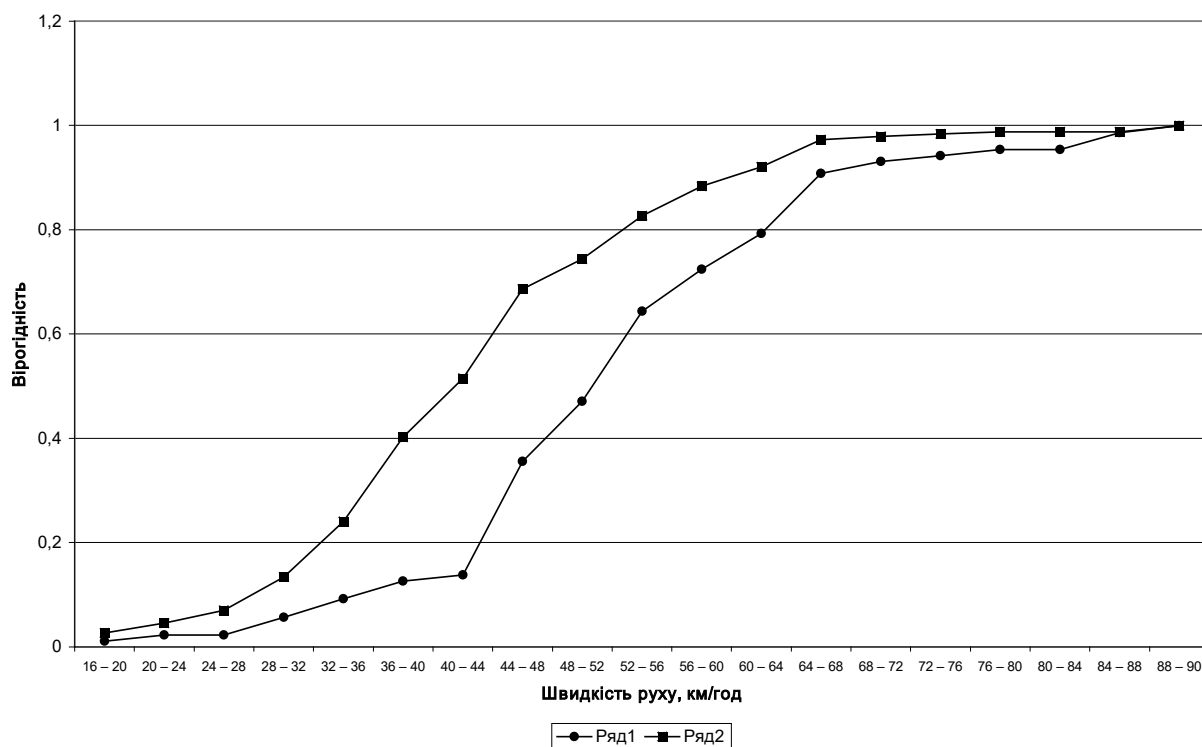
Таблиця 2.26 – Розподіл вірогідностей швидкостей руху на 1980 рік

Інтервали швидкості, км/год	Кількість автомобілів, од					
	Легкові		ГАЗ 53 А		Автобуси	
	$F_1(v)$	$\Phi_1(v)$	$F_2(v)$	$\Phi_2(v)$	$F_3(v)$	$\Phi_3(v)$
16 – 20	0,011	0,027	-	0,013	-	0,023
20 – 24	0,023	0,046	0,013	0,035	0,014	0,023
24 – 28	0,023	0,070	0,026	0,088	0,029	0,070
28 – 32	0,057	0,134	0,071	0,148	0,116	0,093
32 – 36	0,092	0,241	0,167	0,300	0,261	0,140
36 – 40	0,126	0,402	0,295	0,490	0,551	0,372
40 – 44	0,138	0,515	0,462	0,640	0,710	0,535
44 – 48	0,356	0,686	0,776	0,865	0,899	0,860
48 – 52	0,471	0,744	0,878	0,927	0,989	0,930

Кінець таблиці 2.26

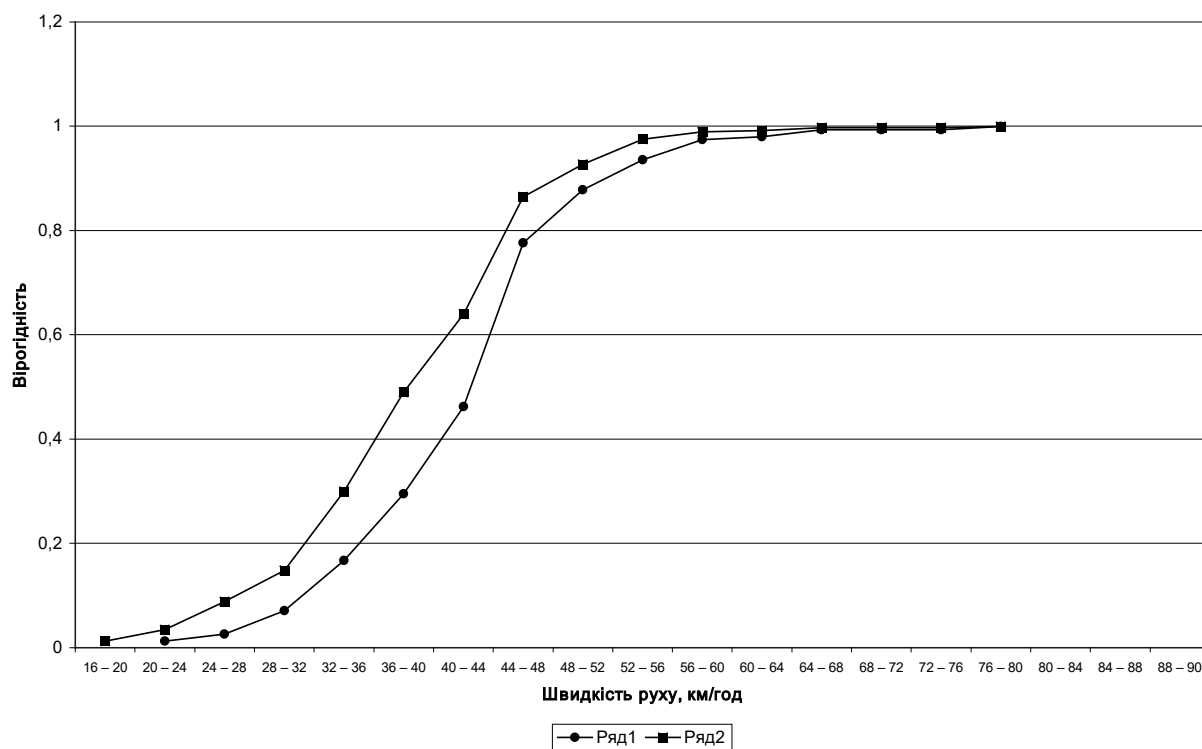
Інтервали швидкості, км/год	Кількість автомобілів, од					
	Легкові		ГАЗ 53 А		Автобуси	
	$F_1(v)$	$\Phi_1(v)$	$F_2(v)$	$\Phi_2(v)$	$F_3(v)$	$\Phi_3(v)$
52 – 56	0,644	0,827	0,936	0,975	1	0,976
56 – 60	0,724	0,884	0,974	0,989	-	1
60 – 64	0,793	0,921	0,980	0,992	-	-
64 – 68	0,908	0,973	0,993	0,997	-	-
68 – 72	0,931	0,979	0,993	0,997	-	-
72 – 76	0,942	0,984	0,993	0,997	-	-
76 – 80	0,954	0,988	1	1	-	-
80 – 84	0,954	0,988	-	-	-	-
84 – 88	0,986	0,988	-	-	-	-
88 – 90	1	1	-	-	-	-

На рисунках 2.29 – 2.31 наведені графіки розподілу вірогідностей швидкості характерних автомобілів 1980 року за даними таблиці 2.26.



ряд 1 – $F(v)$; ряд 2 – $\Phi(v)$

Рисунок 2.29 - Розподіл вірогідностей швидкостей руху легкових автомобілів
1980 року



ряд 1 – $F(v)$; ряд 2 – $\Phi(v)$

Рисунок 2.30 - Розподіл вірогідностей швидкостей руху автомобілів ГАЗ 53
1980 року

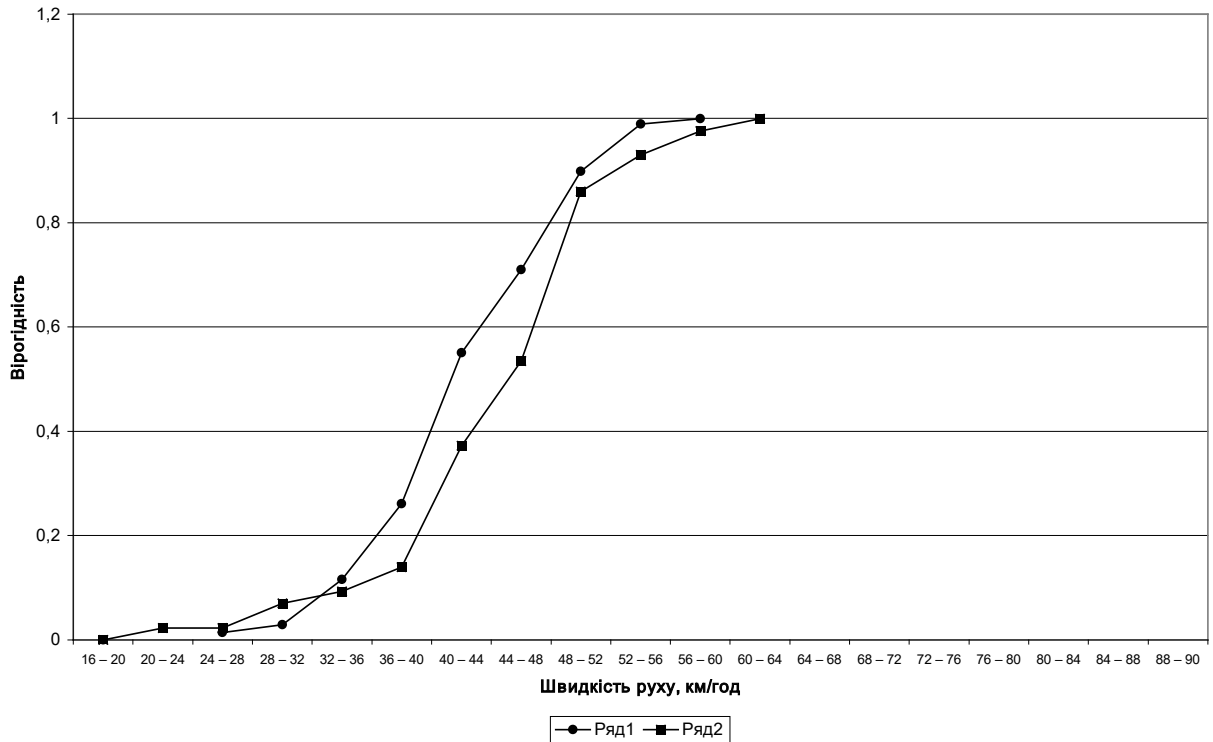


Рисунок 2.31 - Розподіл вірогідностей швидкостей руху автобусів 1980 року

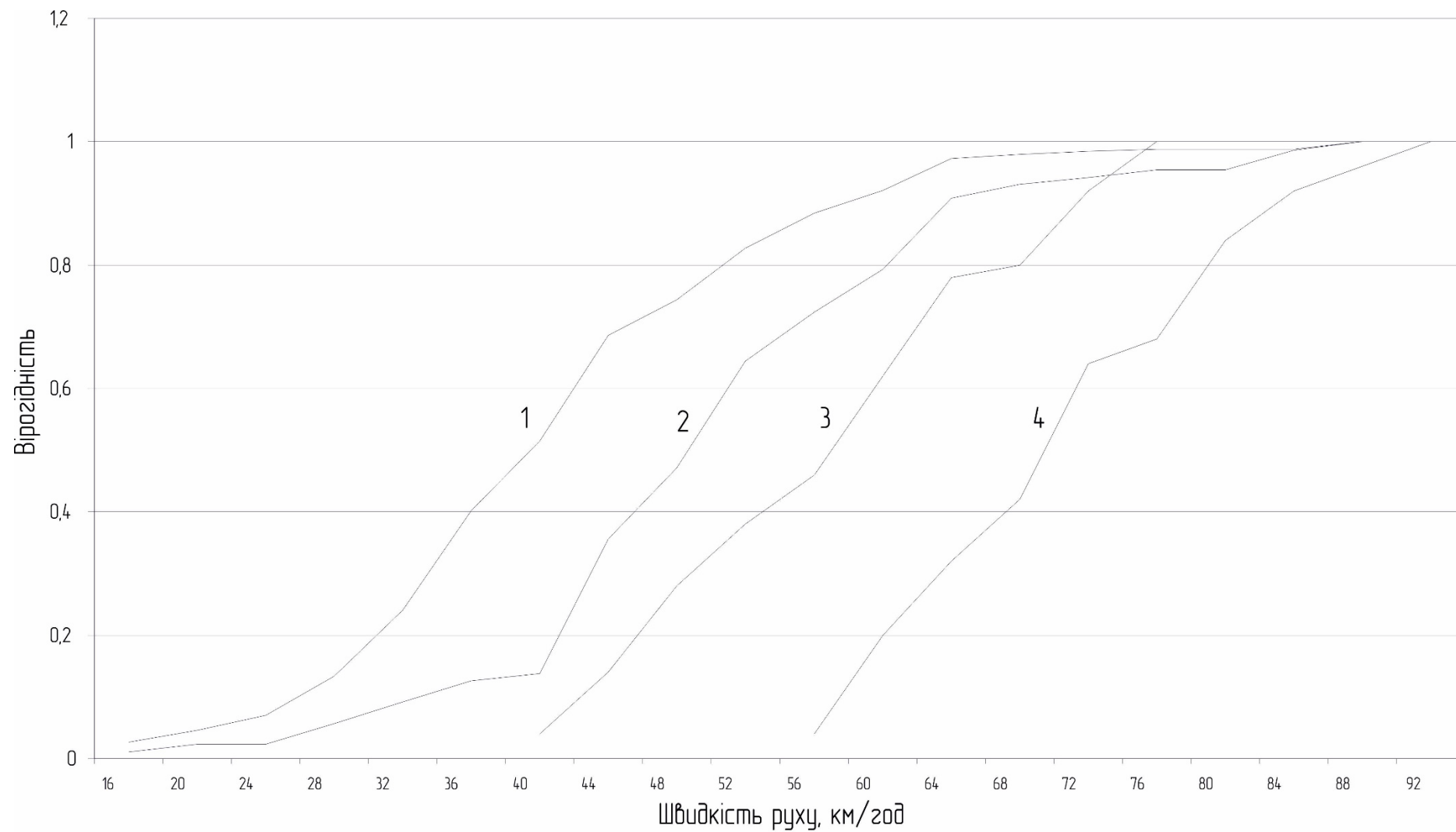
На рисунках 2.32-2.34 наведено для співставлення графіки розподілу вірогідностей швидкості руху характерних автомобілів сучасності та характерних автомобілів 1980 року.

Проаналізувавши отримані результати, можливо зробити наступні висновки:

- сучасний транспортний потік значно відрізняється від потоку 1980 року перш за все нижніми межами розподілу швидкостей руху; особливо це стосується легкових автомобілів;
- верхні межі не набули значних змін; основна причина цього – певний рівень швидкості руху при дотримуванні умов безпеки;
- форма кривої розподілу швидкості не змінилася, але розташування її на площині швидкостей змістилося в бік підвищення.

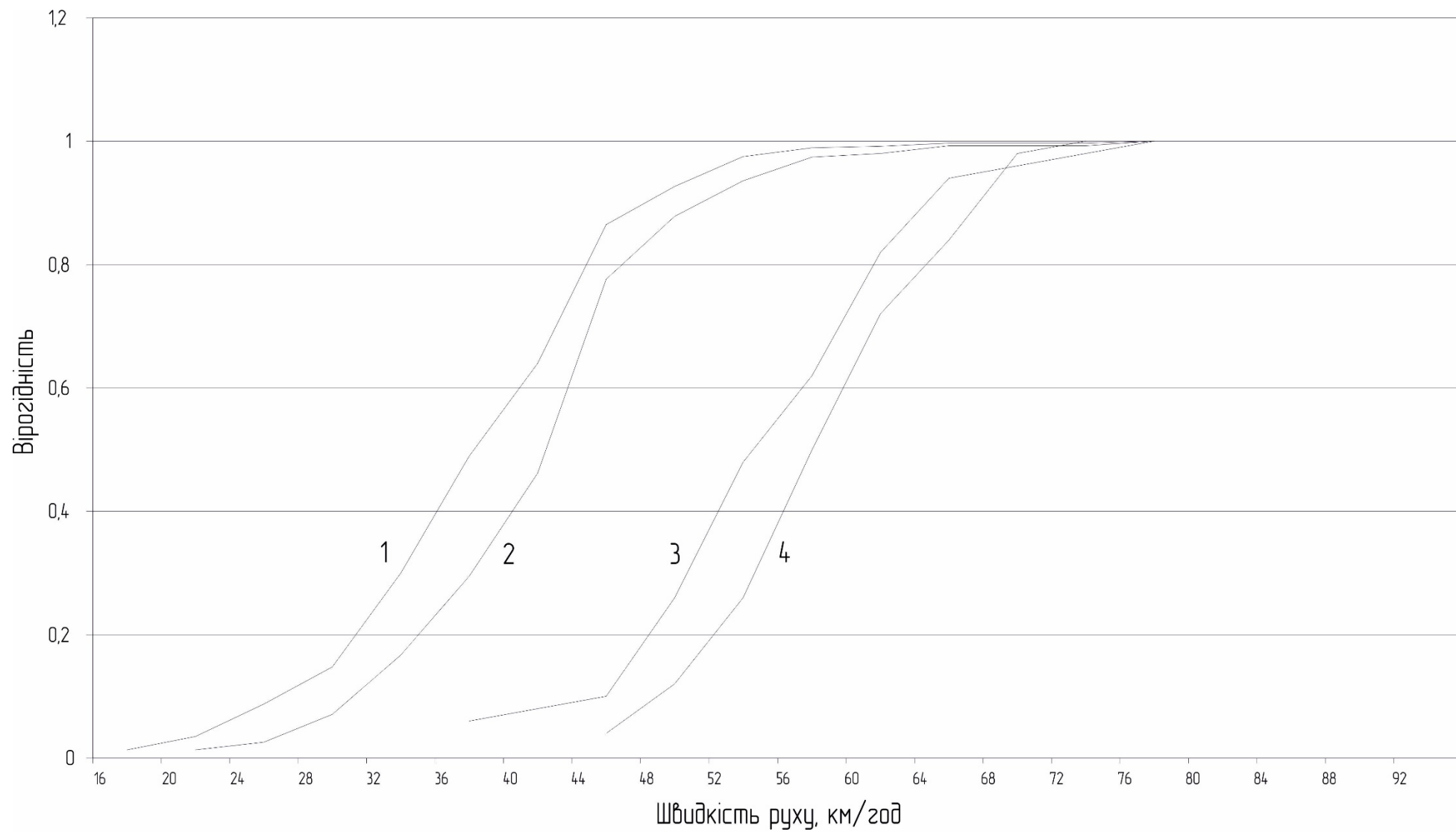
Отже, можна стверджувати, що розподіл швидкостей руху дещо змінився. А значить і використання математичних моделей, що були отримані ра-

ніше, для сучасних умов можна вважати правильним частково. Вони потребують детального уточнення та перевірки отриманням експериментальних підтверджень.



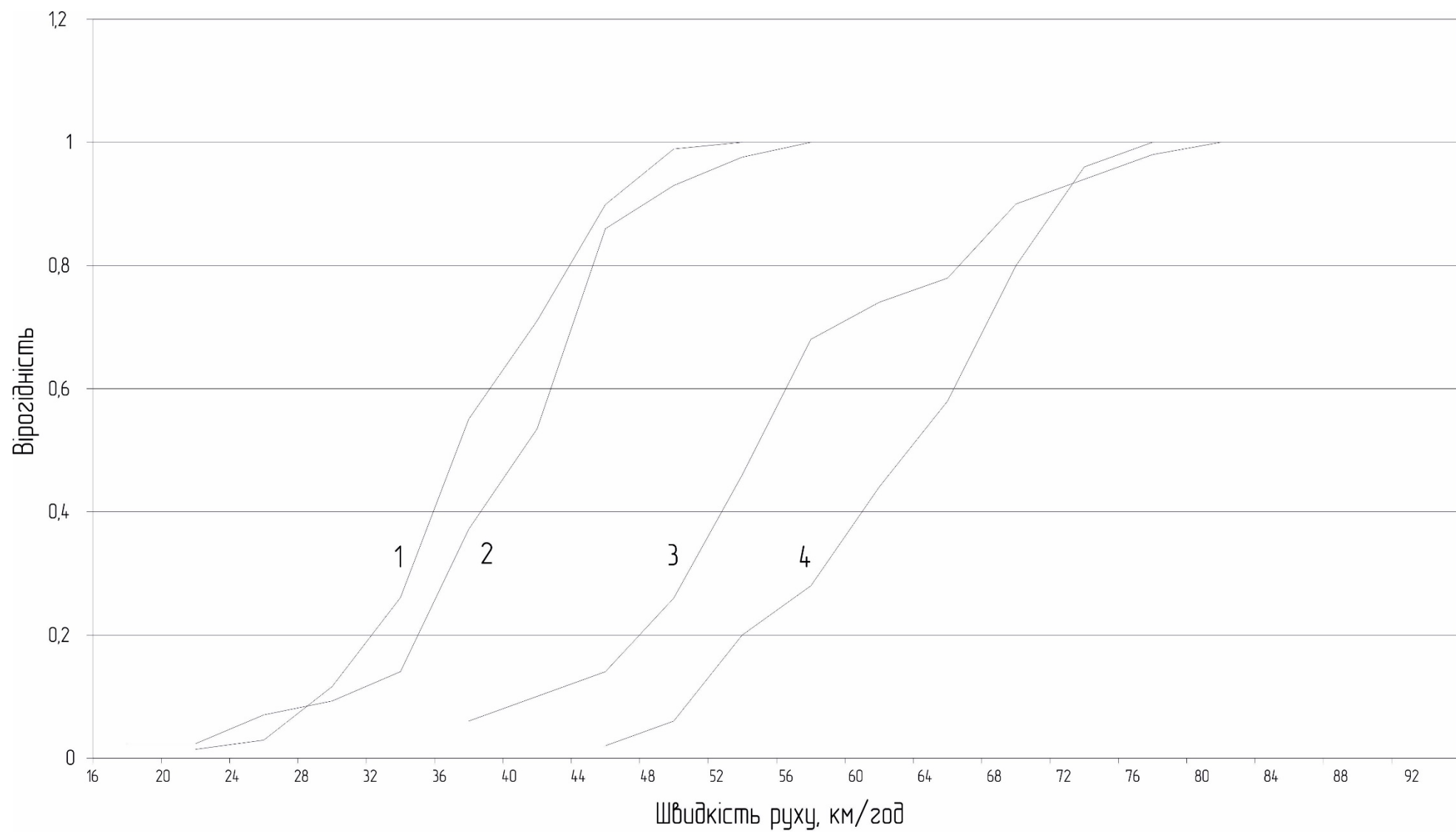
1 – рух у потоці в 1980 р.; 2 – вільний рух в 1980 р.; 3 – рух у потоці в 2023 р.; 4 – вільний рух в 2023 р.

Рисунок 2.32 – Розподіл вірогідностей швидкостей руху легкових автомобілів



1 – рух у потоці в 1980 р.; 2 – вільний рух в 1980 р.; 3 – рух у потоці в 2023 р.; 4 – вільний рух в 2023 р.

Рисунок 2.33 – Розподіл вірогідностей швидкостей руху вантажних автомобілів



1 – рух у потоці в 1980 р.; 2 – вільний рух в 1980 р.; 3 – рух у потоці в 2023 р.; 4 – вільний рух в 2023 р.

Рисунок 2.34 – Розподіл вірогідностей швидкостей руху автобусів

3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

На безпеку дорожнього руху впливає велика кількість різних факторів, як об'єктивних (конструктивні особливості та технічний стан транспортного засобу, конструктивні параметри та стан дороги, інтенсивність руху транспортних засобів та пішоходів, облаштування доріг різними спорудами та засобами регулювання, пора року, доби), так і суб'єктивних (стан водіїв та пішоходів, порушення правил дорожнього руху).

3.1 Визначення середньої швидкості руху транспортних засобів

Від швидкості руху залежить пропускна спроможність дороги та економічні показники дорожнього руху. На практиці організації дорожнього руху прийнято характеризувати V_a її миттєвими значеннями, які фіксуються в окремих типових точках дороги.

Проаналізувавши всі спостереження, що виконувалися в роботі, визначили середню швидкість автомобілів $V = 10,1$ м/с.

3.2 Визначення динамічного габариту автомобіля

Для визначення пропускної здатності дороги потрібно розрахувати динамічні габарити автомобілів.

Розрахунки дозволили отримати середні значення теоретичного та фактичного динамічного габариту:

- теоретичний $L_d = 15,225$ м;
- фактичний $L_d = 12,62$ м.

3.3 Розрахунок пропускної спроможності дороги

Поняття «пропускної спроможності» можна розділити на дві групи:

- розрахункова P_p ;
- фактична P_f .

До першої групи відносяться усі варіанти теоретичного визначення за різними формулами. При усіх видах прогнозування руху можливо отримати необхідні дані пропускної спроможності тільки першої групи за формулою [1]:

$$P_p = \frac{3600 \cdot V}{L_d}, \quad (3.1)$$

де V – швидкість руху автомобілів (м/с);

L_d – динамічний габарит автомобіля.

$$P_p = \frac{3600 \cdot 10,1}{15,225} = 2388 \text{ авт/год.}$$

Отримання даних другої групи можливо лише для існуючих шляхів сполучення і певних умов дорожнього руху. Ці дані дозволяють реально оцінити пропускну спроможність при забезпеченні певного рівня швидкості і безпеки руху:

$$P_f = \frac{3600 \cdot 10,1}{12,62} = 2881 \text{ авт/год.}$$

Зробимо розрахунки поступово збільшуючи швидкість:

- для 40 км/год:

$$P_p = \frac{3600 \cdot 11,11}{15,225} = 2627 \text{ авт/год};$$

$$P_\phi = \frac{3600 \cdot 11,11}{12,62} = 3169 \text{ авт/год};$$

- для 50 км/год:

$$P_p = \frac{3600 \cdot 13,89}{15,225} = 3284 \text{ авт/год};$$

$$P_\phi = \frac{3600 \cdot 13,89}{12,62} = 3962 \text{ авт/год};$$

- для 60 км/год:

$$P_p = \frac{3600 \cdot 16,67}{15,225} = 3941 \text{ авт/год};$$

$$P_\phi = \frac{3600 \cdot 16,67}{12,62} = 4755 \text{ авт/год}.$$

На основі отриманих даних побудуємо графіки залежності пропускної спроможності від швидкості руху (див. рис. 3.1)

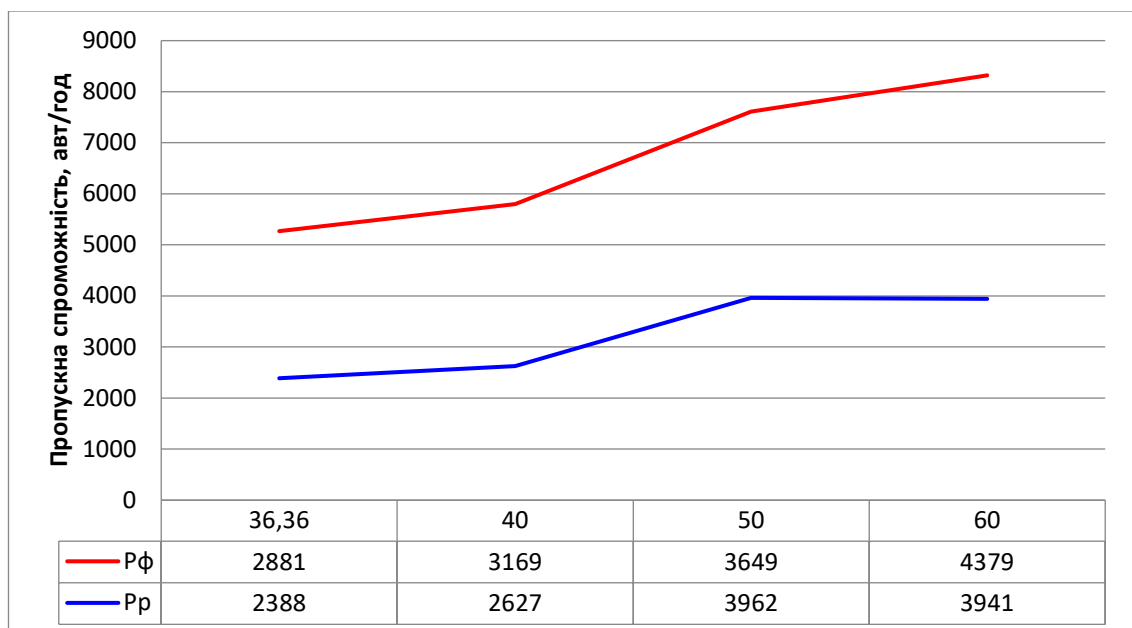


Рисунок 3.1 – Графіки залежності пропускної спроможності від швидкості руху

3.4 Визначення вартості роботи транспортних засобів

Розрахуємо різницю в показниках теоретичної та фактичної пропускної спроможності:

- для 36,36 км/год: $P = 2881 - 2388 = 493$ авт/год;
- для 40 км/год: $P = 3169 - 2627 = 542$ авт/год;
- для 50 км/год: $P = 3962 - 3284 = 678$ авт/год;
- для 60 км/год: $P = 4755 - 3941 = 814$ авт/год.

Використовуючи дані зі спостережень розіб'ємо різницю на (див. рис. 3.2 – 3.5):

- легкові автомобілі – 90,83%;
- вантажні автомобілі – 7,18%;
- автобуси – 0,36%;
- мікроавтобуси – 1,63%.

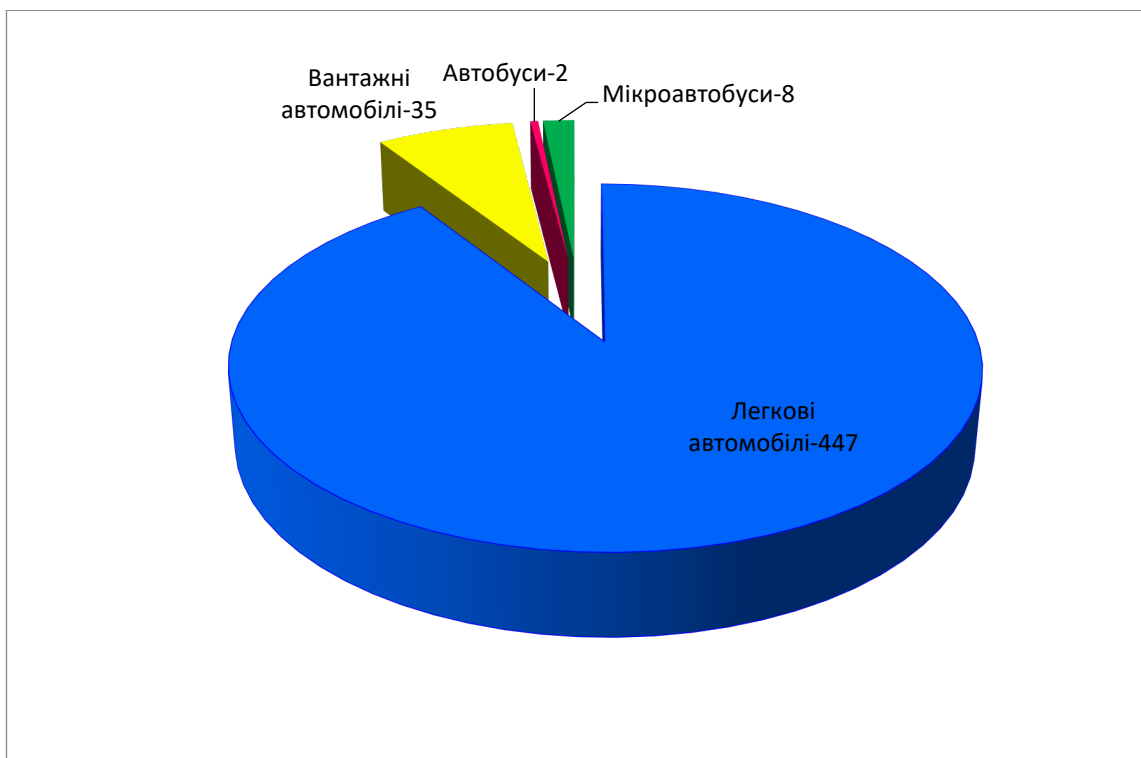


Рисунок 3.2 – Розподіл транспортних засобів при фактичній швидкості (36,36 км/год)

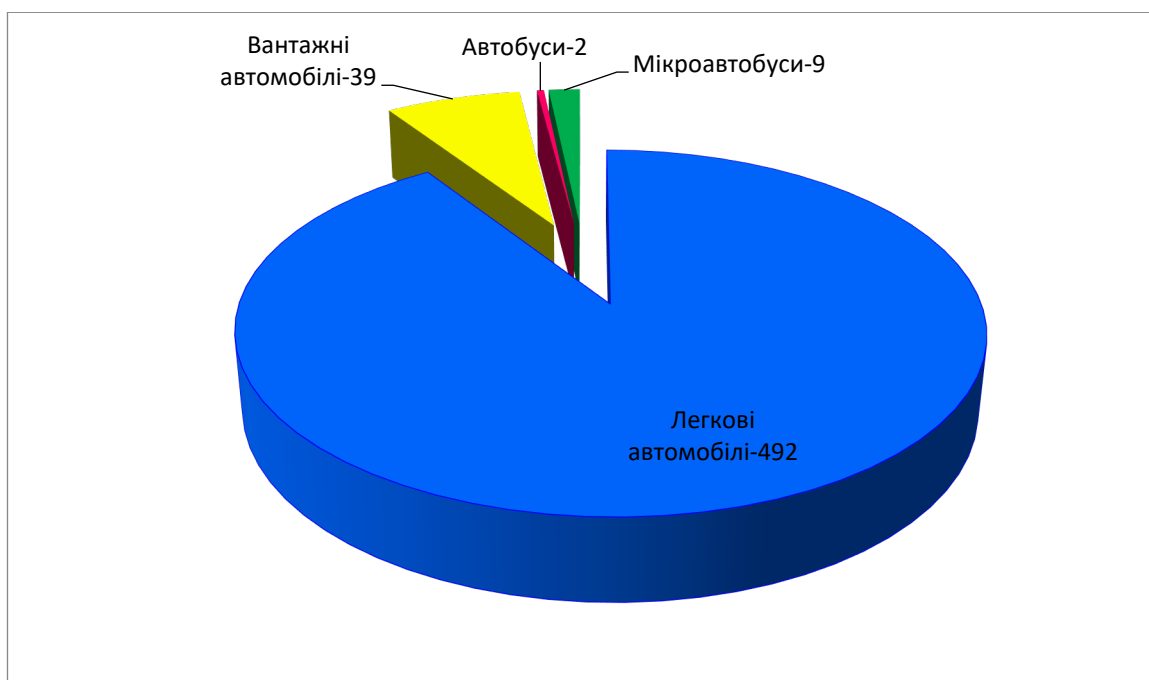


Рисунок 3.3 – Розподіл транспортних засобів при швидкості (40 км/год)

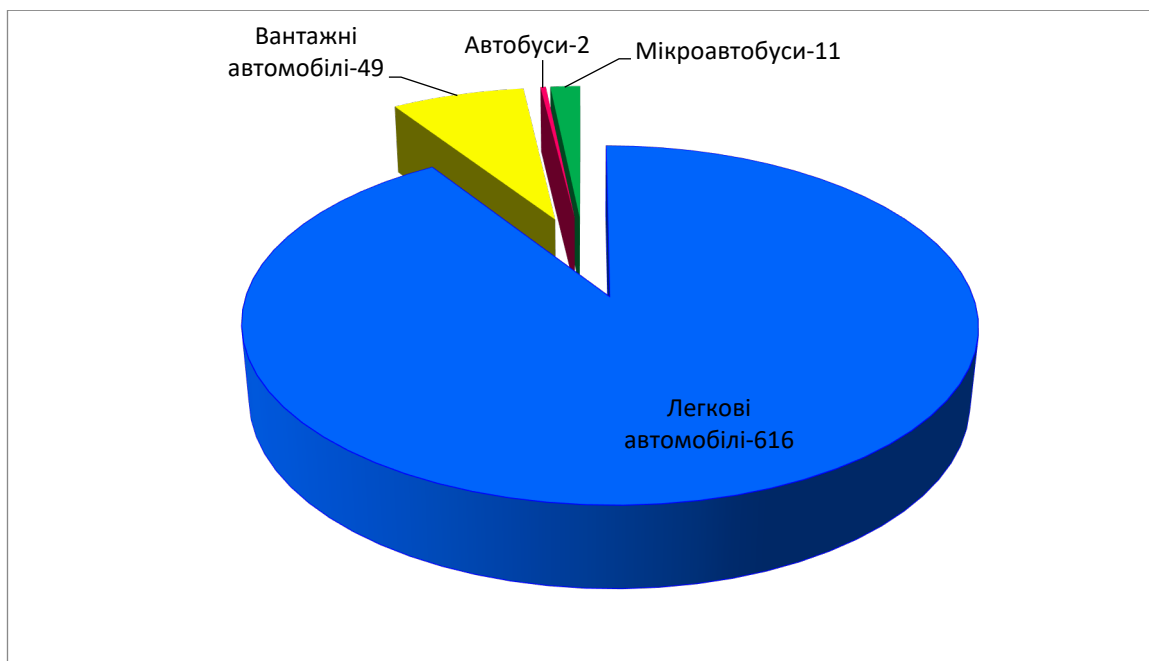


Рисунок 3.4 – Розподіл транспортних засобів при швидкості (50 км/год)

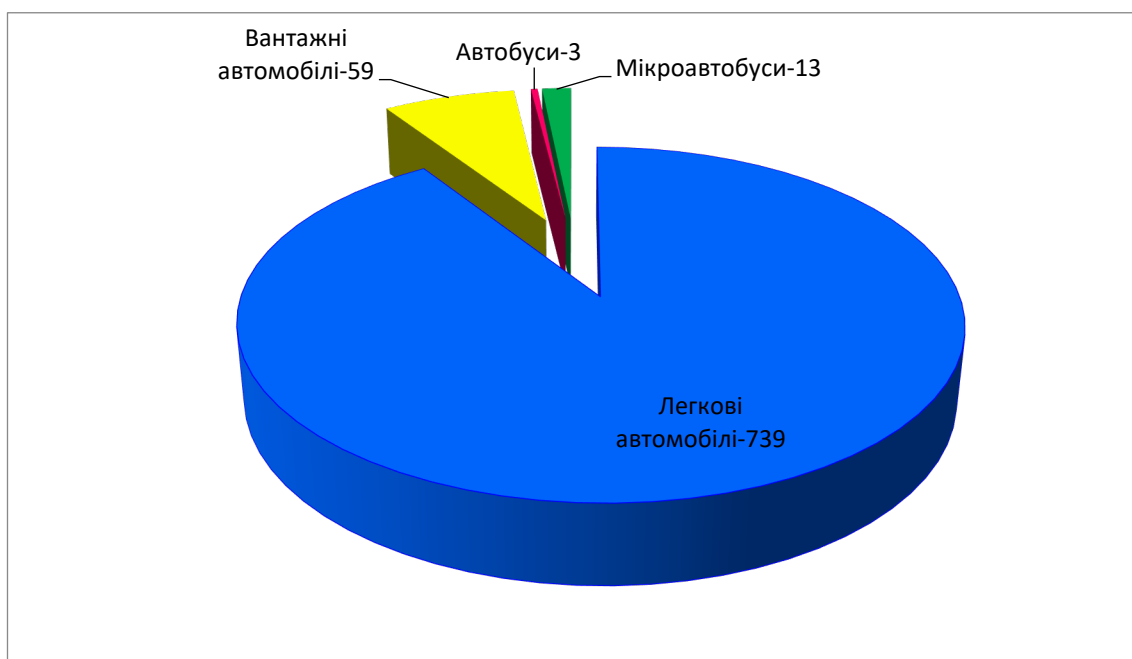


Рисунок 3.5 – Розподіл транспортних засобів при швидкості (60 км/год)

Вартість години роботи транспортних засобів на 2024 рік складає:

- легкових автомобілів – 340 грн.;
- вантажних автомобілів – 950 грн.;
- автобусів – 1380 грн.;
- мікроавтобусів – 600 грн.

Знаючи кількість транспортних засобів розрахуємо загальну вартість їх роботи:

- для 36,36 км/год: $\sum P = 447 \cdot 340 + 35 \cdot 950 + 2 \cdot 1380 + 8 \cdot 600 = 192790$ грн;

- для 40 км/год: $\sum P = 492 \cdot 340 + 39 \cdot 950 + 2 \cdot 1380 + 9 \cdot 600 = 212490$ грн;

- для 50 км/год: $\sum P = 616 \cdot 340 + 49 \cdot 950 + 2 \cdot 1380 + 11 \cdot 600 = 265350$ грн;

- для 60 км/год: $\sum P = 739 \cdot 340 + 59 \cdot 950 + 3 \cdot 1380 + 13 \cdot 600 = 319250$ грн.

Проведемо розрахунки у випадку зміни складу транспортного потоку, при завжди сталих значеннях:

- автобусів – 0,36%: у розрахунковому потоці – 9 авт/год, у фактичному потоці 10 авт/год;
- мікроавтобусів – 1,63%: у розрахунковому потоці – 39 авт/год, у фактичному потоці 47 авт/год.

Спочатку проведемо розрахунки на основі розрахункової пропускної спроможності $P_p = 2388$ авт/год та фактичної пропускної спроможності $P_p = 2818$ авт/год для отриманого транспортного потоку при спостереженнях:

- легкові автомобілі – 90,83%: $P_p = 2169$ авт/год; $P_\phi = 2617$ авт/год;
- вантажні автомобілі – 7,18%: $P_p = 171$ авт/год; $P_\phi = 207$ авт/год.

Змінюючи склад транспортного потоку отримаємо наступні дані:

- якщо легкові автомобілі становлять 98,01%: $P_p = 2340$ авт/год; $P_\phi = 2824$ авт/год;
- якщо легкові автомобілі становлять 75%: $P_p = 1791$ авт/год; $P_\phi = 2161$ авт/год, а вантажні – 23,01%: $P_p = 559$ авт/год; $P_\phi = 663$ авт/год;

- якщо легкові автомобілі становлять 50% в складі транспортного потоку: $P_p = 1194$ авт/год; $P_\phi = 1441$ авт/год, то вантажні – 48,01%: $P_p = 1146$ авт/год; $P_\phi = 1383$ авт/год.

Знаючи вартість години роботи, розрахуємо загальні витрати від роботи транспортних засобів то зведемо їх до таблиць 3.1 та 3.2.

Таблиця 3.1 – Вартість роботи в залежності від складу транспортного потоку при розрахунковій пропускній спроможності

№ п/п	Транспортний засіб	Вартість години роботи, грн	Кількість транспортних засобів у потоці, авт/год	Вартість роботи транспортних засобів, грн	Загальна вартість роботи транспортних засобів, грн
1.	Легкові автомобілі	340	2169	737460	935730
	Вантажні автомобілі	950	171	162450	
	Автобуси	1380	9	12420	
	Мікроавтобуси	600	39	23400	
2.	Легкові автомобілі	340	2340	795600	831420
	Автобуси	1380	9	12420	
	Мікроавтобуси	600	39	23400	
3.	Легкові автомобілі	340	1791	608940	1166310
	Вантажні автомобілі	950	549	521550	
	Автобуси	1380	9	12420	
	Мікроавтобуси	600	39	23400	
4.	Легкові автомобілі	340	1194	405960	1530480
	Вантажні автомобілі	950	1146	1088700	
	Автобуси	1380	9	12420	
	Мікроавтобуси	600	39	23400	

Таблиця 3.2 – Вартість роботи в залежності від складу транспортного потоку при фактичній пропускній спроможності

№ п/п	Транспортний засіб	Вартість години роботи, грн	Кількість транспортних засобів у потоці, авт/год	Вартість роботи транспортних засобів, грн	Загальна вартість роботи транспортних засобів, грн
1.	Легкові автомобілі	340	2617	889780	1128430
	Вантажні автомобілі	950	207	196650	
	Автобуси	1380	10	13800	
	Мікроавтобуси	600	47	28200	
2.	Легкові автомобілі	340	2824	960160	1002160
	Автобуси	1380	10	13800	
	Мікроавтобуси	600	47	28200	
3.	Легкові автомобілі	340	2161	734740	1406590
	Вантажні автомобілі	950	663	629850	
	Автобуси	1380	10	13800	
	Мікроавтобуси	600	47	28200	
4.	Легкові автомобілі	340	1441	489940	1845790
	Вантажні автомобілі	950	1383	1313850	
	Автобуси	1380	10	13800	
	Мікроавтобуси	600	47	28200	

На основі отриманих даних побудуємо графіки залежності між відсотковим складом транспортного потоку до вартості годинної роботи транспортних засобів (див. рис. 3.6).

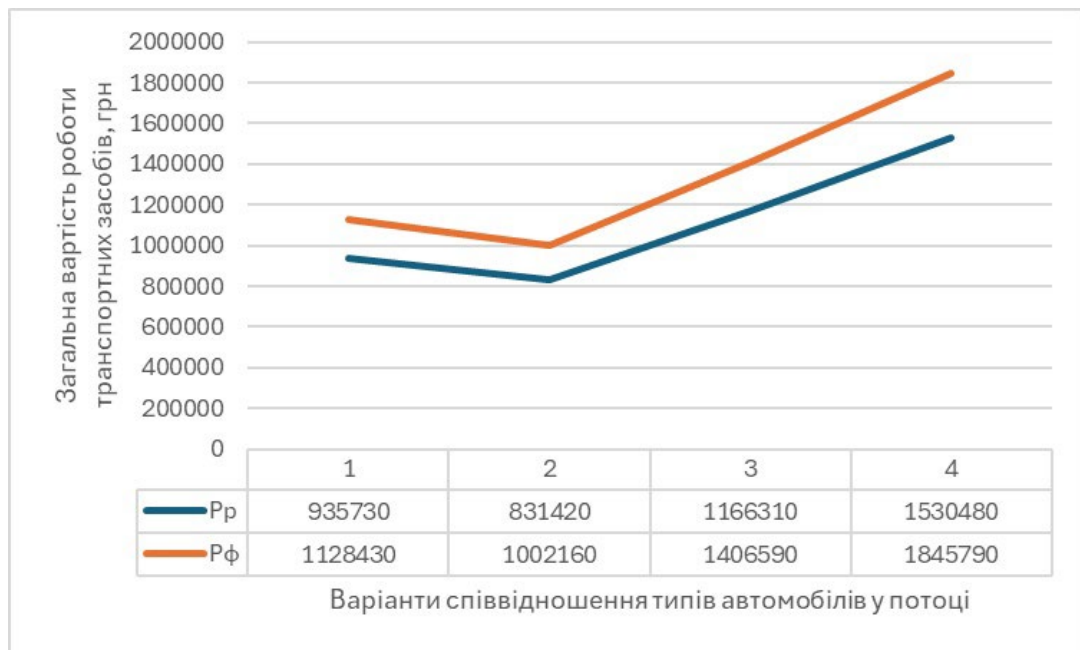


Рисунок 3.6 – Графік залежності загальної вартості транспортної роботи від складу транспортного потоку

З графіку видно, що в точці 2 найнижча загальна вартість роботи, оскільки в ній повністю відсутні вантажні автомобілі. А в точці 4 вона найвища, оскільки в ній вантажні автомобілі займають майже половину загальної вартості роботи (48,01%), легкові автомобілі (50%), автобуси (0,36%) та мікроавтобуси (1,63%).

Отже, зробивши відповідні розрахунки, можна сказати, що фактична пропускна спроможність дороги перевищує розрахункову пропускну спроможність дороги, яка відображається в грошовому еквіваленті тим, що зростає загальна вартість роботи транспортних засобів. Так як, кількість легкових автомобілів значна, складає 90,83% від загальної кількості транспортних засобів, то і економічний показник досить високий.

Так само, як і в розподіленні транспортного потоку за складом, де найбільш вигідним є склад з майже однаковими значеннями в загальному потоці легкових та вантажних автомобілів.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Під час виконання магістерської роботи з метою забезпечення якісного підходу до організації охорони праці дослідника були виділені й проаналізовані основні потенційні ризики. На основі аналізу цих ризиків запропоновано здійснення низки заходів, які направлені на підвищення загального рівня безпеки праці дослідника й дозволяють зменшити або усунути зовсім негативний вплив означених ризиків. Також в роботі наданий загальний аналіз окремому питанню цивільного захисту.

Сучасні реалії виконання магістерської роботи в умовах військового стану диктують певні особливості виконання процесу написання роботи, основний час якого займає безпосередня праця за комп'ютером. Саме тому в розділі охорони праці буде йти мова про забезпечення безпечної праці дослідника. В процесі використання комп'ютерної техніки для набору тексту, виконання розрахунків, аналізу літератури існує ряд потенційних ризиків, а саме:

- інтенсивна праця із порушенням режиму відпочинку може призводити до появи головного болю, втоми дослідника через нестачу сну чи розумове перевантаження;
- в разі використання несправної комп'ютерної техніки, яка може значно шуміти, слух дослідника може зазнавати негативного впливу;
- невідповідні умови використання комп'ютерної техніки із порушеннями електричної безпеки можуть стати причиною отримання дослідником ураження електричним струмом;
- недбале відношення до ергономічної складової робочого місця може стати причиною появи болісних відчуттів у дослідника та призвести до погіршення його постави;
- значний дискомфорт для дослідника можуть викликати порушення температурного режиму в робочій кімнаті;

- довга робота при поганому освітленні приміщення може призводити до перевтомлення очей дослідника й, навіть, до погіршення його зору.

Щоб зменшити вплив на дослідника зазначених ризиків, обов'язковою вимогою при роботі стає дотримання загальних правил охорони праці, підтримання відповідних цим правилам умов в процесі виконання магістерської роботи.

Окремі заходи для зменшення зазначених ризиків розташовані в додатках магістерської роботи.

Загальні вимоги до умов праці дослідника, рекомендації щодо їх підтримання, а також напрямки усунення виробничо-санітарних ризиків розглянуті у додатку Б. В додатку В виконана оцінка наявних небезпечних та шкідливих факторів, визначена класифікація і наявний ступінь шкідливості, наданий аналіз кількох основних показників, серед яких ступінь монотонності праці, освітлення приміщення, рівень шуму, температура повітря, тощо. В додатку Г запропоновані заходи протипожежної безпеки, а також розглянуті заходи безпеки в надзвичайних ситуаціях.

ВИСНОВКИ

Проблема використання математичних моделей, які були отримані кілька десяти років тому, стоїть зараз дуже гостро. В розглянутій магістерській роботі зроблена спроба відповісти на запитання: «чи можливо застосовувати такі математичні моделі чи вони вже застарілі?»

В роботі зроблено детальний аналіз різноманітних математичних моделей, що описують рух транспортних засобів у потоці. Для порівняння було обрано розглянуті моделі, що описують швидкість руху та її зміну, а також вплив на неї інших характеристик транспортного потоку.

В роботі виконано детальне обстеження транспортного потоку щодо його складу, визначені типові представники автомобілів, які відображають своїм рухом певні групи сучасного транспортного потоку. Зроблено вимірювання швидкості руху обраних автомобілів у вільних умовах та в транспортному потоці.

Отримані статистичні дані оброблені за допомогою сучасного програмного засобу. Отримані криві розподілу швидкостей руху цих автомобілів. Крім того проведені розрахунки відповідності цих розподілів законам розподілів. Також отримані розподіли вірогідностей швидкостей руху.

Зроблений аналіз розподілів вірогідностей сучасних типових автомобілів з типовими автомобілями минулих років, на характеристиках яких базуються математичні моделі. Визначені відмінності та дані рекомендації щодо подальших розробок цього питання.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Організація та регулювання дорожнього руху: підручник / за заг. ред. В.П. Поліщука, О.О. Бакуліч, О.П. Дзюба, В.І. Єресов та ін. – К.: Знання України, 2012. – 467 с.
2. Поліщук В.П. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху / В.П. Поліщук, О.П. Дзюба. - К.: Знання України, 2008. - 175 с.
3. Формальчик, Є. Ю. Моделювання транспортних потоків: навчальний посібник / Є. Ю. Формальчик, В. В. Гілевич, І. А. Могила ; за заг. ред. Є. Ю. Формальчика . — Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2020 . — 216 с.
4. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. М.: Транспорт, 1977. – 308 с.
5. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения: Учебное пособие для ВУЗов / В.Ф. Бабков - 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1982. - 288 с.
6. В.М. Кисляков и др. Математическое моделирование и оценка условий движения автомобилей и пешеходов. М.: Транспорт, 1979 – 200 с.
7. Автомобільний концерн Toyota. Офіційний сайт URL: <https://www.toyota.ua> (дата звернення: 10.09.2024).
8. Компанія «МАЗ-Трейд». Офіційний сайт URL: <https://mazavto.in.ua/> (дата звернення: 12.09.2024).
9. Корпорація «Богдан». Офіційний сайт URL: <https://bogdan.ua/avtobusi/> (дата звернення: 13.09.2024).
10. Ивченко Г.И., Медведев Ю.И., Чистяков А.В. Математическая статистика. – М.: Высшая школа, 1989.

ДОДАТОК А

Перевірка відповідності законам розподілу

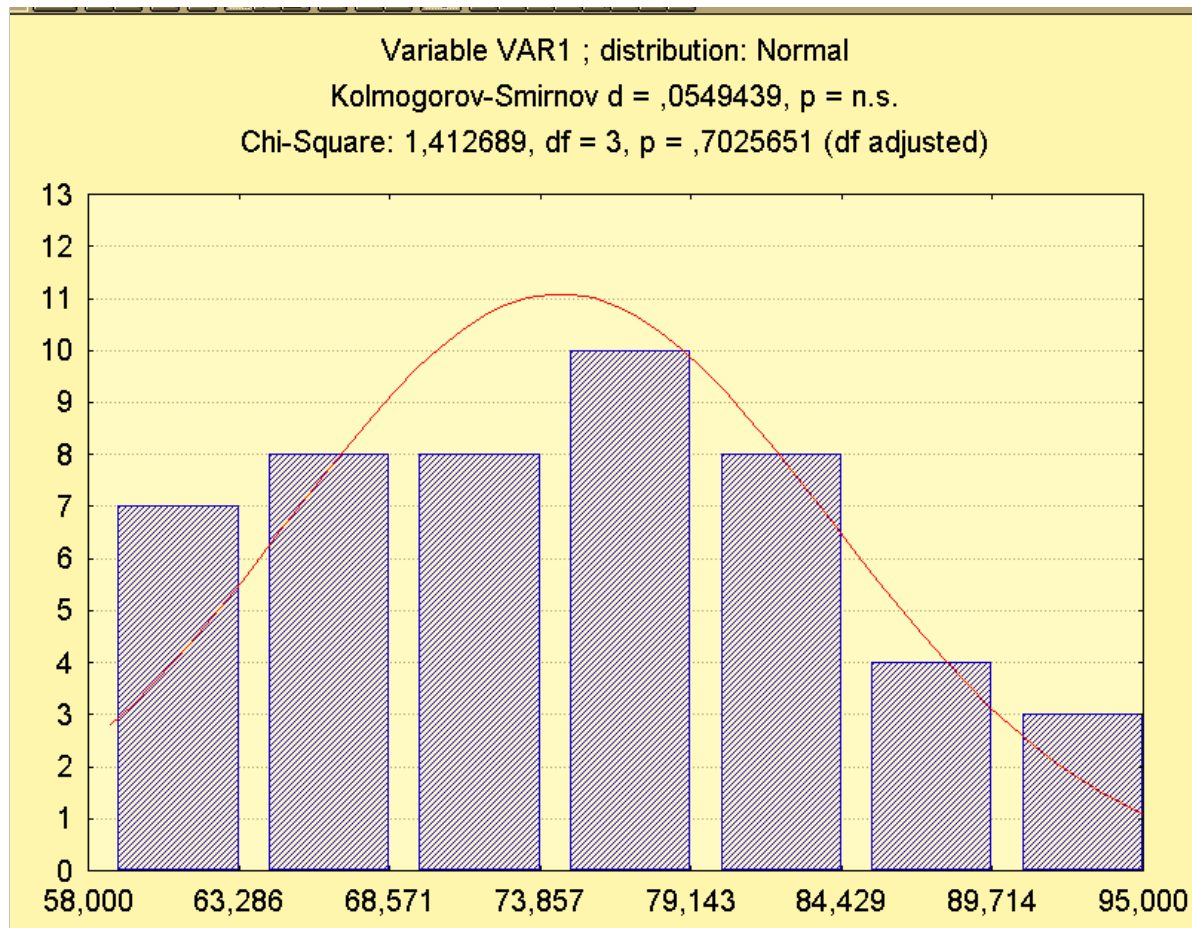


Рисунок А.1 – Перевірка на відповідність нормальному закону розподілу швидкостей руху автомобілів «джипів» у вільних умовах

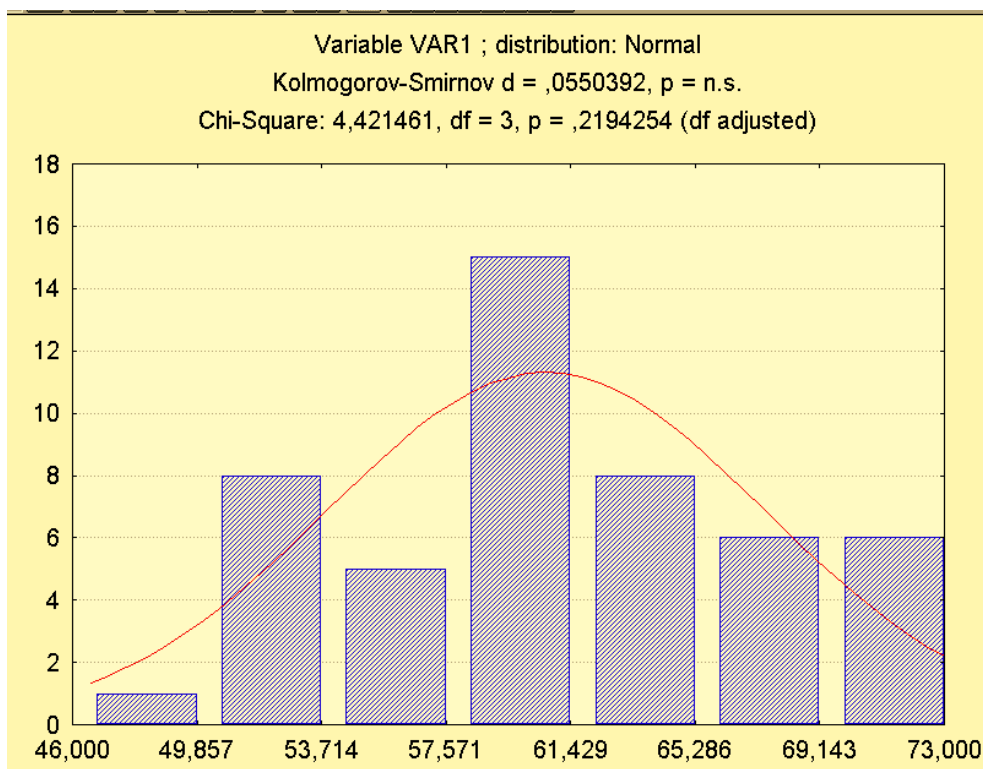


Рисунок А.2 – Перевірка на відповідність нормальному закону розподілу швидкостей руху вантажівок МАЗ у вільних умовах

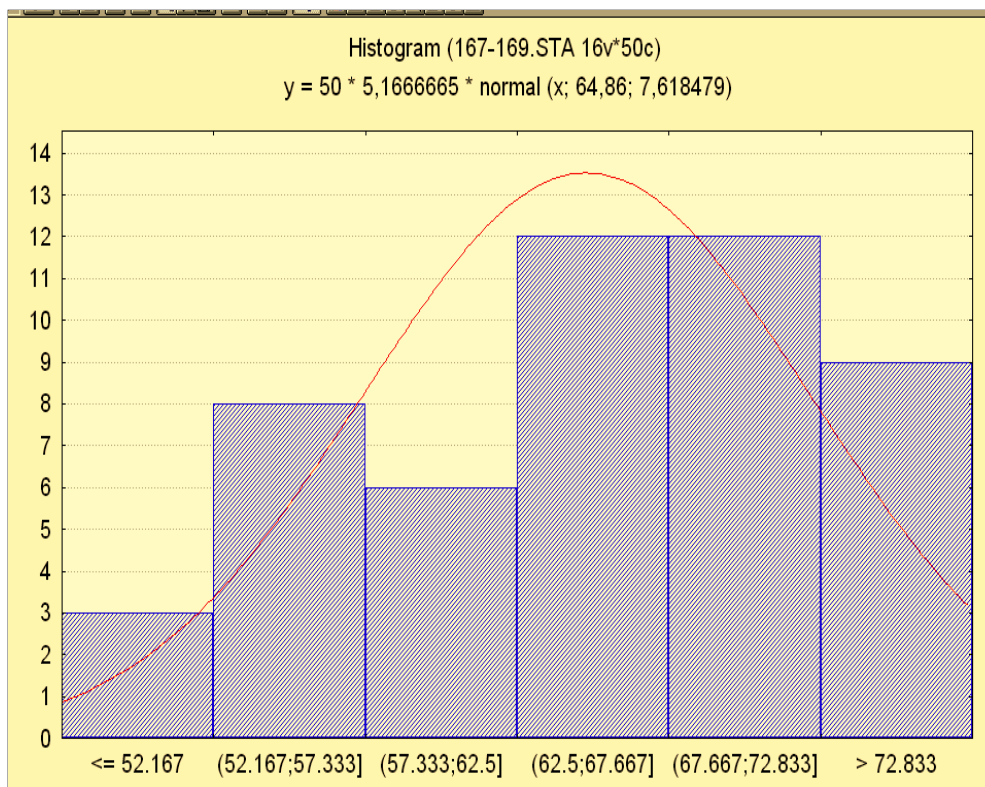


Рисунок А.3 – Перевірка на відповідність нормальному закону розподілу швидкостей руху автобусів Богдан у вільних умовах

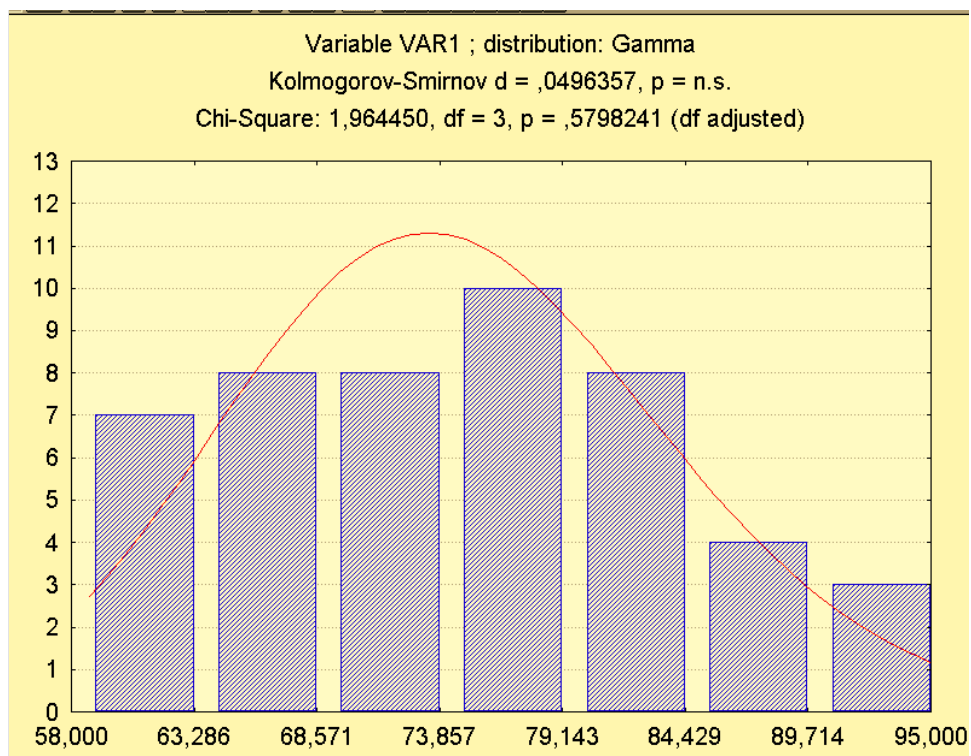


Рисунок А.4 – Перевірка на відповідність гамма-розподілу швидкостей руху автомобілів «джипів» у вільних умовах

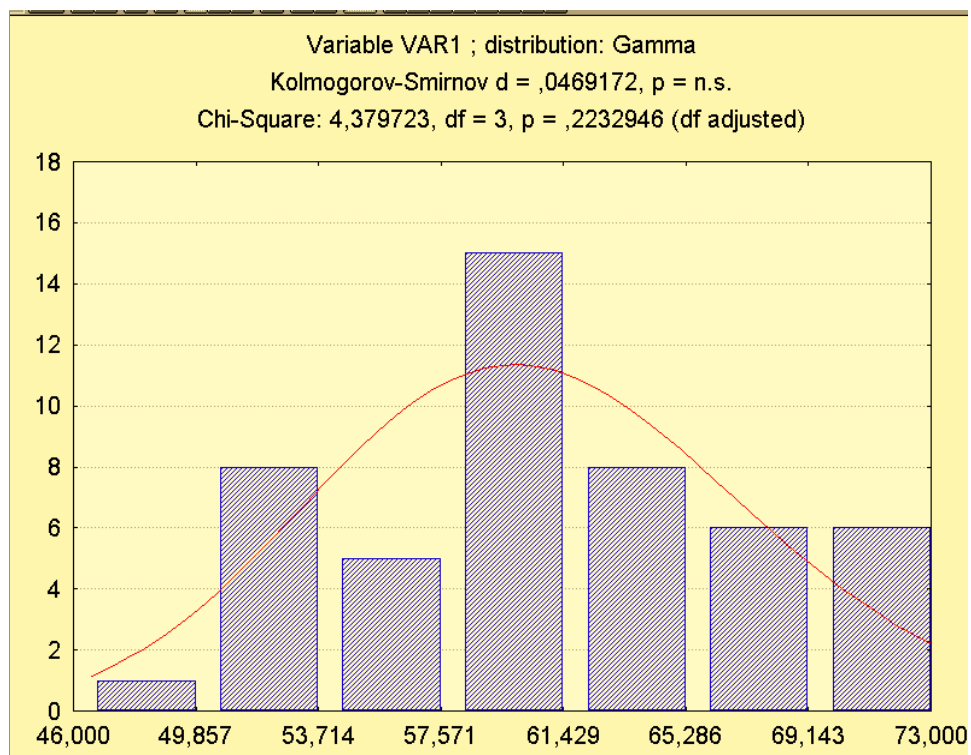


Рисунок А.5 – Перевірка на відповідність гамма-розподілу швидкостей руху вантажівок МАЗ у вільних умовах

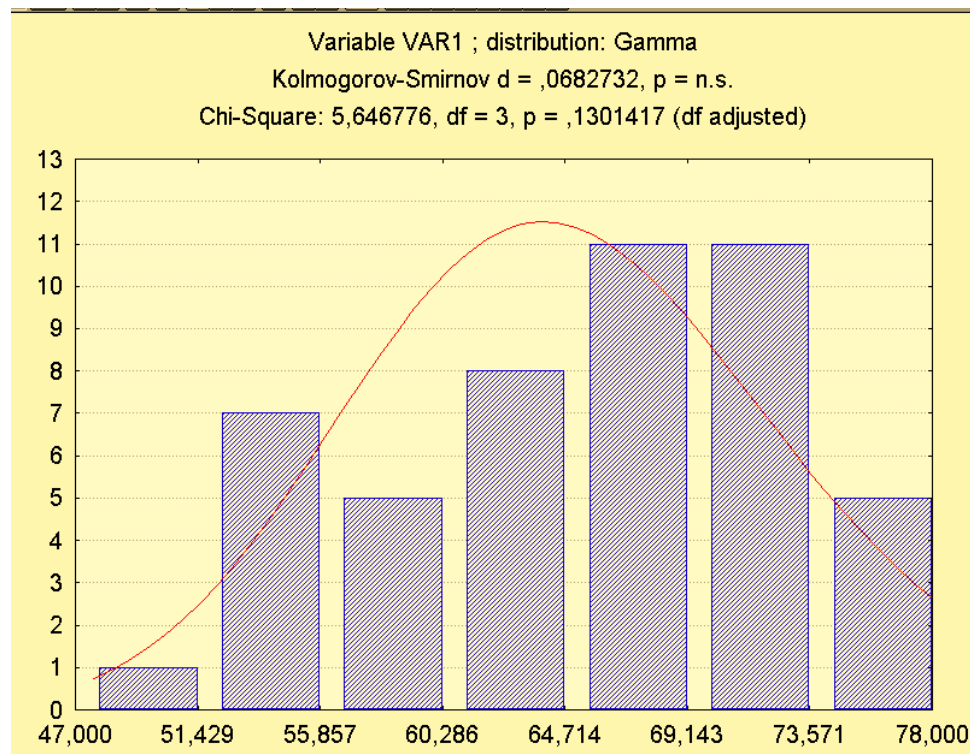


Рисунок А.6 – Перевірка на відповідність гамма-розподілу швидкостей руху автобусів Богдан у вільних умовах

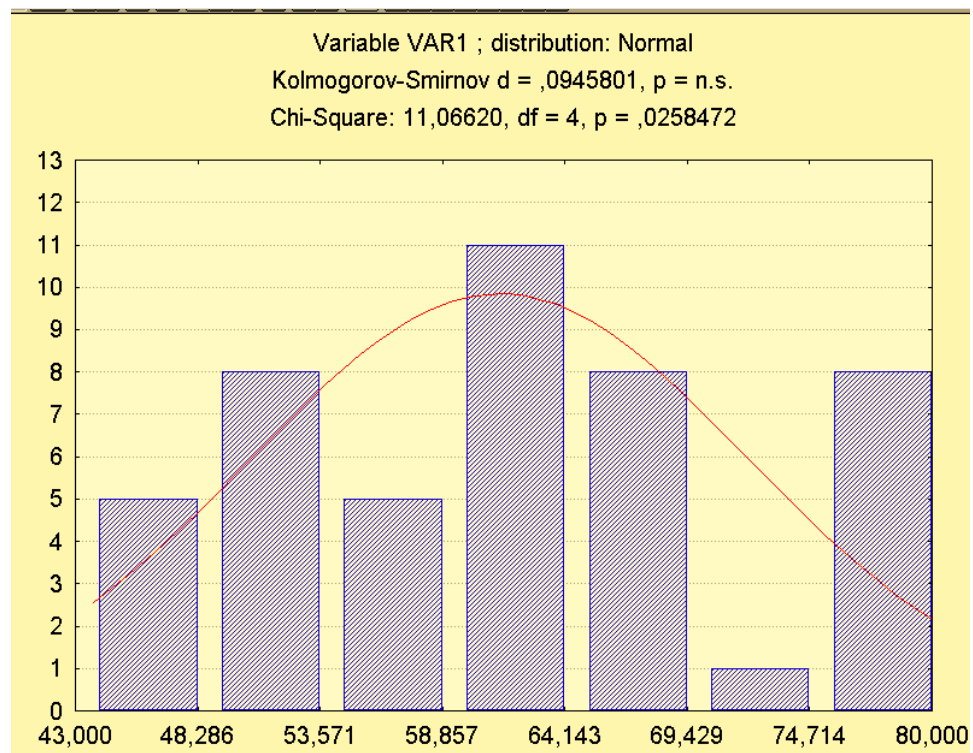


Рисунок А.7 – Перевірка на відповідність нормальному закону розподілу швидкостей руху автомобілів «джипів» при русі в потоці

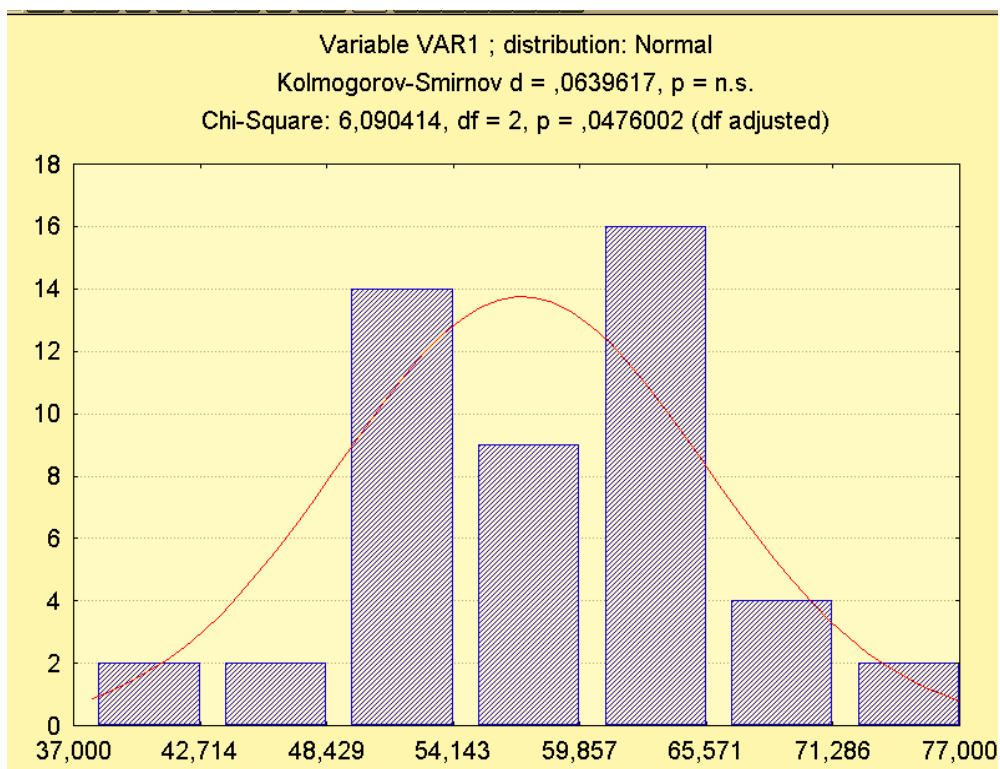


Рисунок А.8 – Перевірка на відповідність нормальному закону розподілу швидкостей руху вантажівок МАЗ при русі в потоці

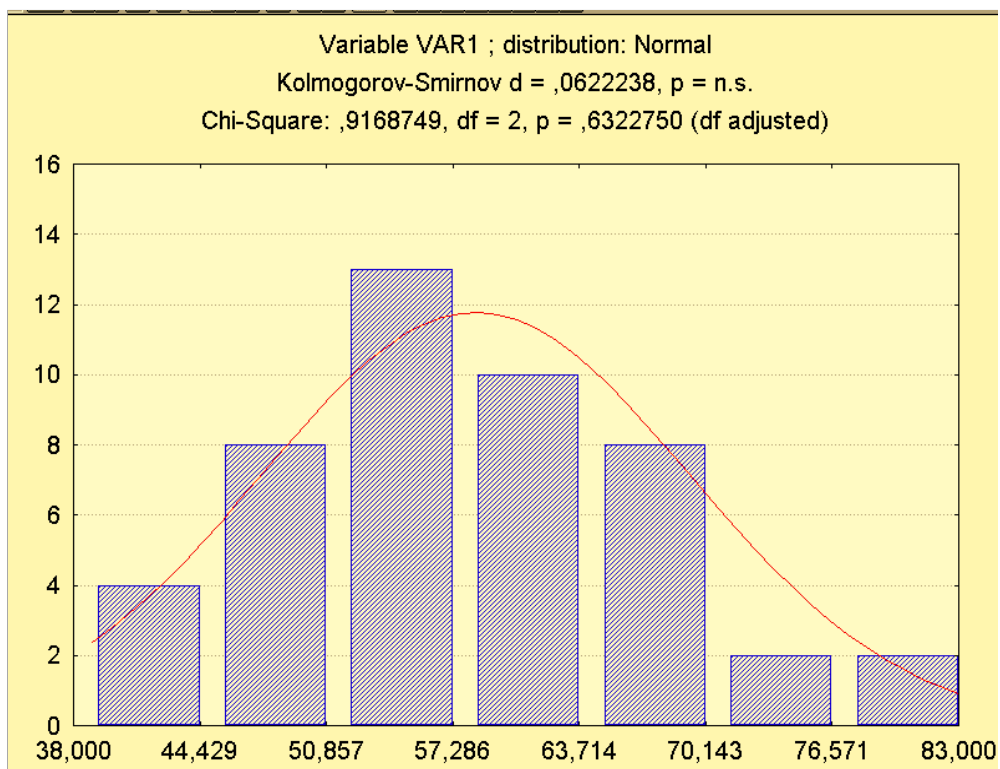


Рисунок А.9 – Перевірка на відповідність нормальному закону розподілу швидкостей руху автобусів Богдан при русі в потоці

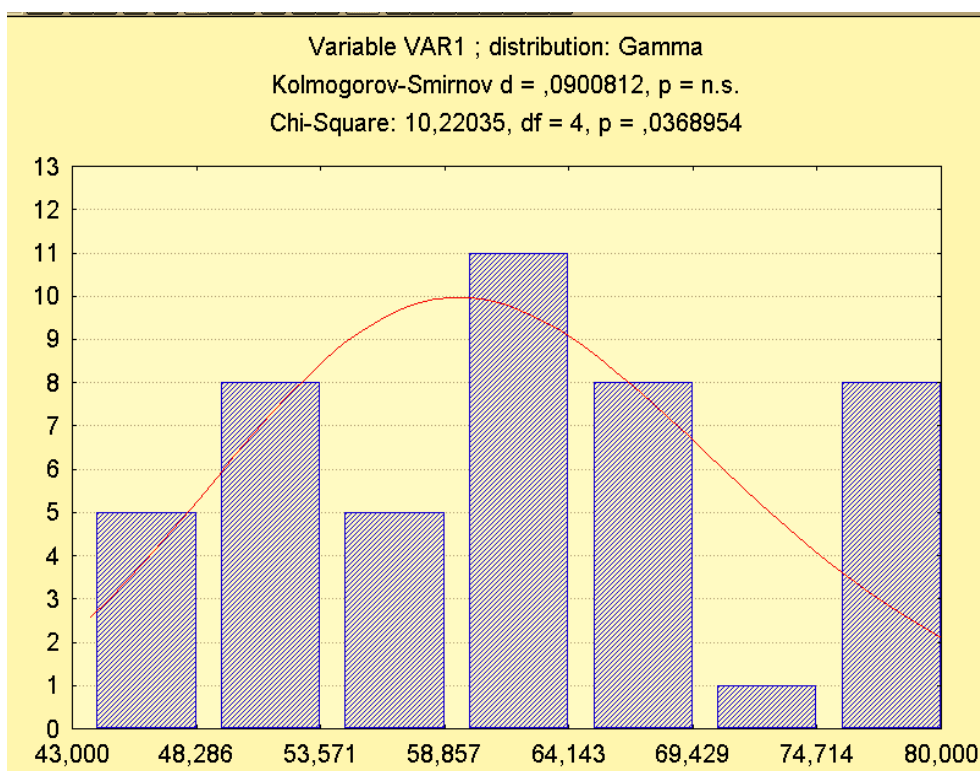


Рисунок А.10 – Перевірка на відповідність гамма-розподілу швидкостей руху автомобілів «джипів» при русі в потоці

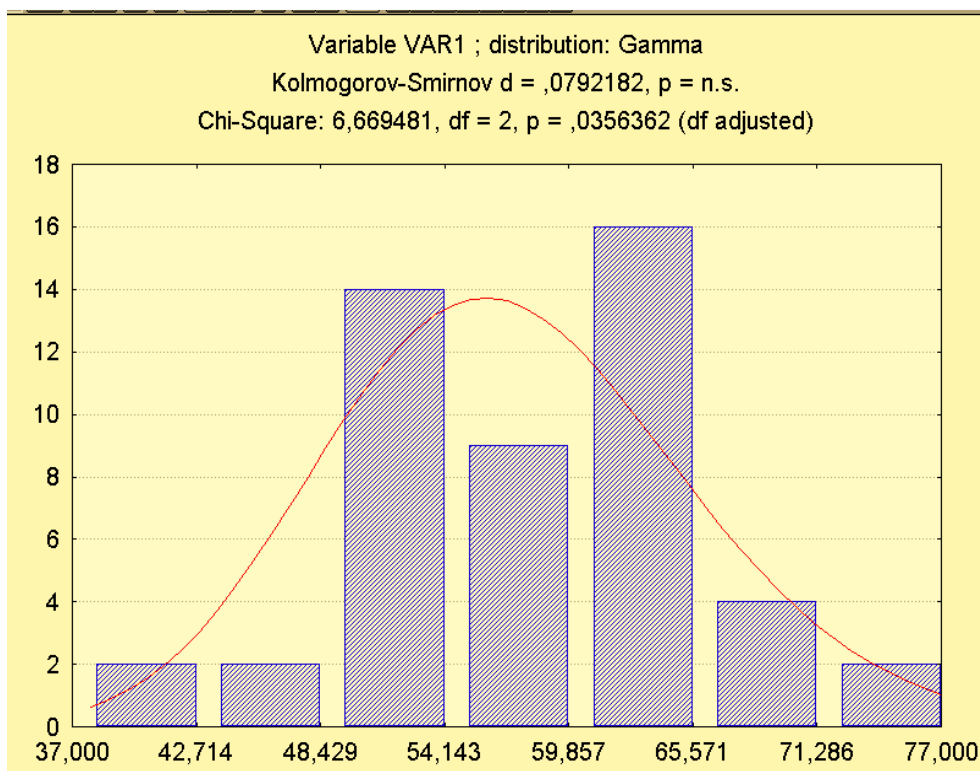


Рисунок А.11 – Перевірка на відповідність гамма-розподілу швидкостей руху вантажівок МАЗ при русі в потоці

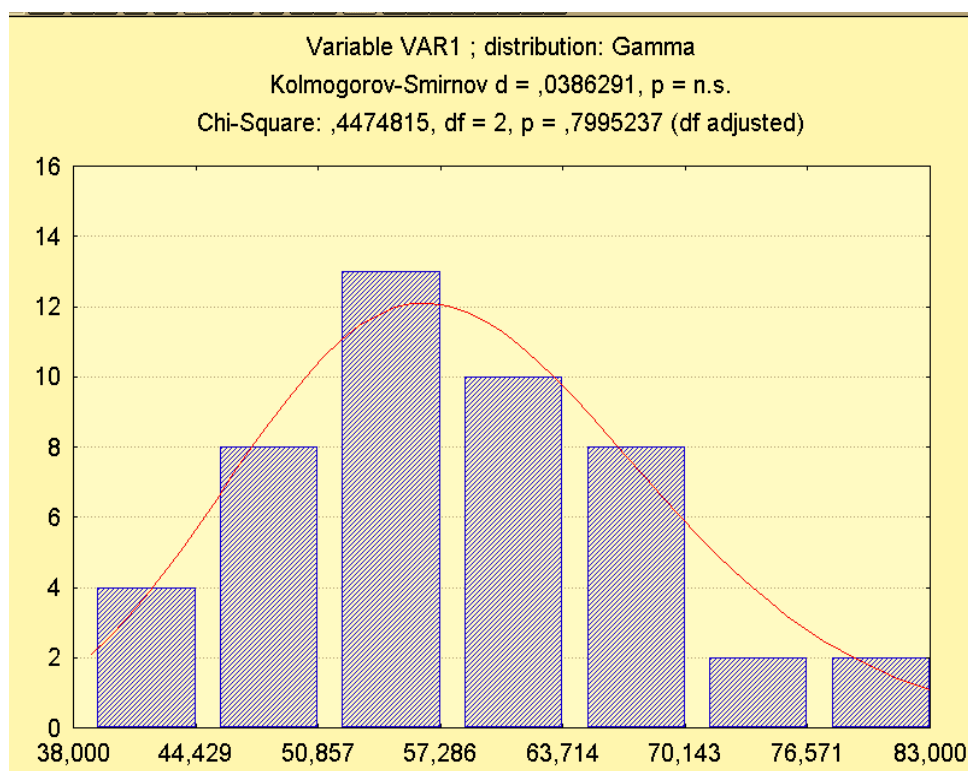


Рисунок А.12 – Перевірка на відповідність гамма-розподілу швидкостей руху автобусів Богдан при русі в потоці

ДОДАТОК Б

Заходи по забезпеченню безпеки

Для запобігання ураження електричним струмом, необхідно всі дроти, що підходять до ПК та до адаптерів, згорнути у спеціальні ізолюючі вкриття (пластмасові коробки). Розташувати їх на стіні, або на полу. Це не дасть можливості пошкодження дротів механічно.

Необхідно враховувати, що будь-який персональний комп'ютер, допоміжне обладнання та периферійні пристрої які експлуатуються разом з ним (принтер, сканер, модем) є електроустановками які живляться напругою до 1000 В й на них і на все, що пов'язано з їх експлуатацією в повній мірі поширюються вимоги електробезпеки.

Тому з метою забезпечення безпеки, як користувачів, так і обслуговуючого персоналу комп'ютерів, при їх експлуатації в приміщеннях (лабораторіях) обладнаних комп'ютерами, повинні бути повністю дотримані вимоги електробезпеки ДСТУ 7237:2011 «Системи стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту».

Рівні електромагнітних випромінювань моніторів, що вважаються безпечними для здоров'я, регламентуються нормами MPR 11 1990:10 Шведського національного комітету по вимірах і випробуванням. Ці значення рівнів вважаються базовими. Українські нормативні документи повністю збігаються в частині рівнів ЕМІ з вимогами MPR 11.

ДОДАТОК В

Загальна гігієнічна оцінка умов праці

Джерелом електростатичного поля є позитивний потенціал, який подається на внутрішню поверхню екрана монітора для прискорення електронного променя.

Напруженість поля для кольорових дисплеїв може досягати 18 кВ. Тому із зовнішньої сторони до екрана притягаються з повітря негативні частинки, які при нормальній вологості мають певну провідність.

Якщо зовнішня поверхня екрана заземлена, його електростатичний потенціал знижується: при сухому повітрі на 50%, при вологому більш ніж на 50%. Для зменшення впливу принтера, треба винести його в інше приміщення.

У виробничих приміщеннях, на робочих місцях з комп'ютерною технікою забезпечуються оптимальні значення параметрів мікроклімату: температури, відносної вологості та швидкості переміщення повітря, для легкої роботи категорій 1б, згідно вимог ДСН 3.3.6.042-99 «*Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень*», наведених у таблиці

В рамках дослідження шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища, важкості та напруженості праці були проведені відповідні виміри мікроклімату, освітлення, рівня шуму та інші у лабораторії де є ПК, які були внесені до таблиці.

У відповідності до вихідних даних, були зроблені розрахунки і внесені наявні фактори умов праці та виробничого середовища що впливають на працівника в процесі трудової діяльності їх фактичне значення та час дії до стовпчиків 1, 2, 3, таблиці «Результати оцінювання за бальною шкалою».

Відповідно до додатків методичних вказівок [1], за витратами енергії, визначаємо категорію робіт для дослідника лабораторії обладнаної ПК. Умови праці, за витратами енергії, не перевищують 140 Вт (90-120 ккал/год.) та повинні відповідати легким фізичним роботам – категорії 1б.

З додатків [1], відповідно до категорії робіт 1б, розряду зорових робіт Б-2 та виявлених показників умов та напруженості праці, визначаємо ГДК (ГДР) виявлених факторів і показників та вносимо їх значення до стовпчика 4, таблиці «Результати оцінювання за бальною шкалою».

Результати оцінювання за бальною шкалою

Фактор (показник)	Вимі- ряні показ- ники $P_{вим}$	Час дії $год.(хв.)$	ГДК, ГДР, показ- ники, $P_{доп}$	$X_{визн},$ бали	Клас умов праці	$X_i,$ бали
1	2	3	4	5	6	7
Мікроклімат за ТНС-індексом, $t, ^\circ C$	27,9	7	22,9- 25,8	3	3.3	3
Освітленість приміщення $E, лк$	180	7	200	—	1-2	0
Розряд і підрозряд зорових ро- біт, $З_{ор}$	Б-2	—	—	—	—	—
Рівень шуму $L, дБА$	94	6	50	—	3.2	1,25
Загальні енергозатрати органі- зму, $Вт$	290	7	290	0,88		
Стереотипні робочі рухи (кіль- кість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук)	49000	7	40000	1,07	3.3	3
Тривалість зосередження уваги (в % від часу зміни)	86	7	75	1,0		
Тривалість робочого дня, $год.$	7	7	8	0,11		

Для окремих факторів і показників за методикою визначеною «Гігієнічною класифікацією праці», визначаємо розрахункові коефіцієнти $X_{визн}$ та вносять їх значення до стовпчика 5, таблиці «Результати оцінювання за бальною шкалою»:

- для гігієнічної оцінки мікроклімату використовуємо ТНС-індекс, додаток Б [1]. Розрахунковий коефіцієнт $X_{визн}$ при оцінка мікроклімату визначаємо в балах, за формулою 7.1:

$$X_{визн} = \frac{1 \cdot t_1 + 2 \cdot t_2 + 3 \cdot t_3 + 4 \cdot t_4}{T} = \frac{3 \cdot 7}{7} = 3$$

для показників важкості та напруженості праці розрахункові коефіцієнти визначаються за основними та допоміжними показниками, що є характерними для конкретного робочого місця, за формулою 7.2:

а.) загальні енергозатрати організму, $K_{знач} = 1,0$

$$X_{визн} = \frac{P_{вим} \cdot T \cdot K_{знач}}{8 \cdot P_{дон}} = \frac{290 \cdot 7 \cdot 1,0}{8 \cdot 290} = 0,88;$$

б.) стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук), $K_{знач} = 1,0$

$$X_{визн} = \frac{P_{вим} \cdot T \cdot K_{знач}}{8 \cdot P_{дон}} = \frac{49000 \cdot 7 \cdot 1,0}{8 \cdot 40000} = 1,07;$$

в.) тривалість зосередження уваги (% від часу зміни), $K_{знач} = 1,0$

$$X_{визн} = \frac{P_{вим} \cdot T \cdot K_{знач}}{8 \cdot P_{дон}} = \frac{80 \cdot 7 \cdot 1,0}{8 \cdot 75} = 1,0;$$

2.) тривалість робочого дня (зміни), $K_{знач} = 0,15$

$$X_{визн} = \frac{P_{вим} \cdot T \cdot K_{знач}}{8 \cdot P_{доп}} = \frac{7 \cdot 7 \cdot 0,15}{8 \cdot 8} = 0,11;$$

Визначаємо клас та ступінь шкідливості умов праці для кожного з виявлених факторів і показників та вносимо їх значення до стовпчика 6, таблиці «Результати оцінювання за бальною шкалою»:

- для мікроклімату, відповідно до значення розрахункового коефіцієнта $X_{визн} = 3$, з таблиці 7.2 [1] – 3 клас, 3 ступінь (3.3);

- при оцінці освітленості робочої зони приміщення, клас та ступінь шкідливості умов праці визначаємо у відповідності до $P_{вим} = 180$ лк, за додатками Г та табл. Г.1 [1] – 2 клас ;

- для гігієнічної оцінки рівня шуму, клас та ступінь шкідливості умов праці визначаємо у відповідності до виміряного значення рівня шуму $P_{вим} = 94$ дБА, за додатками Д та табл. Д.1 [1] – 3 клас, 2 ступінь (3.2);

- клас і ступінь важкості та напруженості праці визначаємо як суму розрахованих балів усіх показників $X_{визн}$ за формулою 7.3 [1]:

$$X_{сум} = \sum_{i=1}^n X_i = 0,88 + 1,07 + 1,0 + 0,11 = 3,07$$

З таблиці 7.3 [1] за значенням суми розрахованих балів показників $X_{сум} = 3,07$ – 3 клас, 3 ступінь (3.3);

Оскільки загальна гігієнічна оцінка умов праці за ступенем шкідливості та небезпечності, з урахуванням комбінованої та сумісної дії виробничих факторів, встановлюється за найбільш високим класом та ступенем шкідливості окремих факторів і показників, тому в результаті досліджень, відповідно до розрахунків, встановлено, що умови праці на робочому місці дослідника лабораторії обладнаної ПК належать до 3 класу, 3 ступеню.

Тому що при гігієнічній оцінці виявлена наявність шкідливих та особливо шкідливих, важких та особливо важких умов праці, проводимо дослідження фактичного стану умов праці, з метою визначення розмірів доплат за ступені шкідливості факторів виробничого середовища та показників важкості та напруженості праці за бальною шкалою, та вносимо їх значення до стовпчика 7, таблиці «Результати оцінювання за бальною шкалою»:

- для оцінки впливу мікроклімату, виходимо з того що він відповідає 3 класу, 3 ступеню умов праці, а час його дії уже врахований, тому – $X_{cm} = X_i = 3$;

- для забезпечення нормованої освітленості приміщення яка відповідає розряду зорових робіт необхідно провести додаткові розрахунки та визначитися з потужністю ламп, типом ламп та світильників та їх раціональним розміщенням;

- для оцінки впливу шуму, виходимо з того, що його рівень відповідає 3 класу, 2 ступеню умов праці та діє протягом 5 годин, тому значення X_i визначаємо за формулою 7.4 [1]:

$$X_i = X_{cm} \cdot \frac{T}{8} = 1 \cdot \frac{2 \cdot 5}{8} = 1,25$$

- для оцінки впливу важкості та напруженості праці, виходимо з того що вони відповідають 3 класу, 3 ступеню умов праці, а час їх дії уже врахований, тому – $X_{cm} = X_i = 3$;

Для визначення конкретного розміру доплати, умови праці оцінюємо по сумі значень X_i , за формулою 7.5 [1]:

$$X_{факт} = \sum_{i=1}^n X_i = 3 + 0 + 1,25 + 3 = 7,25$$

Розмір доплати за умовами праці визначаємо в залежності від їх фактичного стану – $X_{факт} = 7,25$, на підставі Типового положення «Про оцінку умов

праці на робочих місцях і порядок застосування галузевих переліків робіт, на яких можуть установлюватися доплати робітникам за умови праці», з таблиці 7.4 [1]. Розмір доплати до тарифної ставки (окладу) – 16 %.

На підставі результатів загальної гігієнічної оцінки умов праці за ступенем шкідливості та небезпечності, а також дослідження фактичного стану умов праці робимо висновки та пропозиції:

1. Умови, важкості та напруженості праці на робочому місці дослідника лабораторії, згідно результатів досліджень, належать до 3 класу, 3 ступеню (особливо важкі та особливо шкідливі умови праці), що не відповідає вимогам Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» до даного робочого місця;

2. Відповідно до класифікації умови, важкість та напруженість праці на робочому місці -дослідника належать до категорії 1б, тому необхідно привести ці умови у відповідність до нормативних значень, які відповідають оптимальним параметрам для категорії 1б, а саме:

- мікрокліматичні умови, за інтегральним показником теплового навантаження середовища - ТНС-індексом - 20,2-22,8°C;

- освітленість приміщення для роботи з дисплеями відповідає розряду здорових робіт Б-2, нормована загальна освітленість якого, на робочих столах – $E = 200 \text{ лк}$;

- рівень шуму в робочій зоні дослідника – 50 дБА;

- загальні енергозатрати організму, до 175 Вт;

- стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук), до 20000;

- тривалість зосередження уваги (в % від часу зміни), до 50%;

- тривалість робочого дня, 6 або 7 год.

3. Для приведення умов, важкості та напруженості праці до вищезазначених показників необхідно передбачити комплекс заходів які забезпечать нормалізацію умов праці, наприклад:

- для приведення мікрокліматичних умов до відповідності, необхідно забезпечити припливно-витяжну механічну вентиляцію та кондиціювання приміщення;

- для зниження рівня шуму в робочій зоні дослідника необхідно замість матричних принтерів застосувати лазерні; з метою зниження зовнішнього шуму замінити вікна на пластикові з трикамерним склопакетом;

- для зменшення загальних енергозатрат організму, необхідно скоротити тривалість робочого дня 6 або 7 год

- для зменшення напруженості праці від стереотипних рухів за зміну при локальному навантаженні кистей рук та пальців необхідно передбачити перерви, не менш 15 хвилин, кожні 1-2 години;

- для зменшення тривалості зосередження уваги, необхідно скоротити тривалість робочого дня, передбачити додаткові перерви.

4. Якщо, з об'єктивних причин, вищезазначені заходи неможливо виконати, необхідно забезпечити доплати до тарифної ставки (окладу) за особливо шкідливі та особливо важкі умови праці, відповідно до таблиці 7.4 [25], у розмірі 16%

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ ДОДАТКУ В

1. Лазуткін М. І., Журавель М. О. Дослідження шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища, важкості і напруженості праці : методичні вказівки до лабораторного заняття з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі» : для студентів усіх спеціальностей та усіх форми навчання : Запоріжжя: ЗНТУ. Каф. ОП і НС, 2018 – 44 с.

ДОДАТОК Г

Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

Заходи з пожежної безпеки

Оскільки приміщення дослідницької лабораторії що обладнане ПК має площу 22 м², тому відповідно до вимог п. 5 розділу VI «Вибір типу та необхідної кількості вогнегасників», «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», затверджених наказом МВСУ 15.01.2018 № 25 та зареєстрованих в МІОУ 23.02.2018 р. за № 225/31677 для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою, передбачені вуглекислотні вогнегасники типу ВВК-3,5 у кількості 2 штук (з розрахунку один вогнегасник з величиною заряду вогнегасної речовини 3 кг. і більше, на 20 м² площі приміщення). Додатково, на кожному поверсі будівлі, в якій розміщене приміщення обладнане ПК з ВДТ, передбачене два переносних порошкових вогнегасника – ВП-5. Відстань між вогнегасниками та місцями можливих загорянь не перевищує 10 м.

Заходи з цивільного захисту

Організація навчання працюючого та непрацюючого населення діям у надзвичайних ситуаціях.

Згідно до статті 39 «Кодексу цивільного захисту України». Навчання населення діям у надзвичайних ситуаціях здійснюється:

- 1 за місцем роботи - працюючого населення;
- 2 за місцем навчання - дітей дошкільного віку, учнів та студентів;
- 3 за місцем проживання - непрацюючого населення.

Організація навчання діям у надзвичайних ситуаціях покладається:

1. Працюючого та непрацюючого населення - на центральний орган виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту,
2. Дітей дошкільного віку, учнів та студентів - на центральний орган виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері освіти і науки,
3. Стандартами професійно-технічної та вищої освіти передбачається набуття знань у сфері цивільного захисту.
4. Порядок здійснення навчання населення діям у надзвичайних ситуаціях встановлюється Кабінетом Міністрів України.
5. Громадські організації та позашкільні навчальні заклади здійснюють навчання діям у надзвичайних ситуаціях відповідно до своїх статутів.

Стаття 40 регламентує навчання працюючого населення.

Навчання працюючого населення діям у надзвичайних ситуаціях є обов'язковим і здійснюється в робочий час за рахунок коштів роботодавця за програмами підготовки населення діям у надзвичайних ситуаціях, а також під час проведення спеціальних об'єктових навчань і тренувань з питань цивільного захисту.