

П. Ф. Горбачов, Д. М. Ву, І. І. Штанько

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна

ЗАКОНОМІРНОСТІ РОЗПОДІЛУ ШВИДКОСТІ РУХУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА МІСЬКИХ ВУЛИЦЯХ

Анотація. Проблема. Метою досліджень швидкості руху транспортних засобів є визначення загальних тенденцій швидкості, визначення її раціональних меж, оцінка рівня безпеки руху, прогнозування обсягу викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря та інтегральна оцінка часу поїздки в міських мережах, що враховує випадковий характер цієї величини. Особливої актуальності задача її оцінки набуває в міських умовах, коли умови руху не можуть вважатися вільними. Виникаючі тут транспортні ситуації часто обмежують простір і час для здійснення маневрів, так само як і скорочують набір маневрів для водіїв. Різні реакції водіїв на виникаючі в русі складності можуть призводити до зростання рівня випадковості швидкості, що вимагає дуже уважного ставлення до параметрів її розподілу. Попередні дослідження в цьому напрямку підтвердили такі тенденції, але не дозволили зробити остаточних висновків про характер розподілу швидкості транспортних засобів на міських вулицях. **Мета.** Перевірити справедливості гіпотези про можливість описання коливань швидкості руху однотипних транспортних засобів в різних умовах гамма-розподілом. **Методологія.** Статистична оцінка фактичних значень швидкості руху транспортних засобів перед стоп-лінією міського регульованого перетину доріг за допомогою теоретичного закону розподілу та регресійного аналізу зв'язку між математичним сподіванням та параметром форми гама розподілу швидкості руху. **Результати.** Підтверджено справедливості гіпотези про можливість використання гамма-розподілу для опису коливання значень швидкості руху однотипних транспортних засобів в різних умовах. **Оригінальність.** Проведено оцінку швидкості автомобілів та мотоциклів в нових умовах руху. **Практична значущість.** Отримані результати дозволяють підвищити точність прогнозів швидкості руху в аналітичних та імітаційних моделях функціонування транспортних мереж.

Ключові слова: швидкість руху; автомобіль; мотоцикл; регульований перетин; випадкова величина; закон розподілу.

Вступ

Швидкість руху (ШР) транспортних засобів (ТЗ) є об'єктом вивчення для багатьох дослідників транспорту. Вимірювання швидкості найчастіше проводяться в точці (або на короткій ділянці) проїзної частини в умовах вільного потоку. Метою таких досліджень є визначення швидкості, яку обирають водії [1]. Ця інформація використовується для визначення загальних тенденцій швидкості, для визначення раціональних меж швидкості та для оцінки рівня безпеки руху [1]. Задля цього також виконують дослідження швидкості руху в містах, але вони передбачають прогнозування обсягу викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря [2] та визначення інтегральної оцінки часу поїздки в міських мережах, що враховує випадковий характер цієї змінної.

ШР ТЗ є випадковою величиною, яка свідомо обирається водієм в конкретній транспортній ситуації. Її випадковість обумовлена різноманітністю можливих транспортних ситуацій та індивідуальним характером реакції водіїв на них, що має узагальнену назву «манера керування».

Задача оцінки ШР набуває особливої актуальності в міському автомобільно-дорожньому середовищі, коли умови руху не можуть вважатися вільними. Виникаючі тут транспортні ситуації часто обмежують простір і час для здійснення маневрів, так само як і скорочують набір можливих маневрів для водіїв. Останнє твердження здебільшого відноситься до вибору саме ШР ТЗ, яка зазвичай зменшується при ускладненні умов руху. Однак різноманітна реакція водіїв на виникаючі складності при русі може призводити до зростання рівня випадковості

ШР, що вимагає дуже уважного ставлення до параметрів її розподілу. Попередні дослідження в цьому напрямку підтвердили такі тенденції [3, 4], але не дозволили зробити остаточних висновків про характер розподілу ШР транспортних засобів на міських вулицях. Необхідне подальше дослідження цього параметра в нових умовах руху для формування остаточних висновків про закономірності її коливання в міських умовах.

Аналіз літератури. Спосіб опису закону розподілу (ЗР) швидкості руху ТЗ запропоновано в роботах [3, 4], в яких досліджується вплив ширини проїзної частини та наявності світлофора на ЗР швидкості. Для опису коливань ШР використано гамма-розподіл, який добре підходить як для вільних умов руху на міжміських автомобільних дорогах, так і для обмежених міських умов.

У першому випадку для опису ШР зазвичай використовується нормальний розподіл [5]. При деякому ускладненні умов руху автомобілів та зниженні середньої швидкості руху, мода емпіричного розподілу переміщується ліворуч від центру симетрії [6]. У найбільш складних умовах, що виникають перед стоп-лінією міського перетину, гамма-розподіл впритул наближається до свого окремого випадку – показникового розподілу, коли параметр форми наближається до одиниці [3]. Ці результати свідчать на користь використання гамма-розподілу для опису ШР автомобілів в різних умовах, проте не можуть вважатися її підтвердженням. Необхідно вивчити розподіл ШР в ситуаціях з більш складними умовами руху, ніж були розглянуті в роботі [3].

Окрема частина досліджень ШР присвячена її вивченню на прикладі двоколісних транспортних

засобів – різного роду мопедів, моторолерів і мотоциклів, які широко використовуються мешканцями східної Азії [7, 8]. Таких робіт значно менше, ніж робіт, що присвячені ШР автомобілів, але вони присвячені вивченню руху двоколісних ТЗ саме в містах. В роботі [7] наведено графіки щільності ймовірності розподілу ШР мотоциклів в центральній частині Ханоя, столиці В'єтнаму. Спостереження проводилися на перегонах вулиць, і результати досліджень забезпечили візуальну відповідність коливань ШР нормальному закону. З нашої точки зору, цей факт може пояснюватися значно меншою потребою двоколісних ТЗ в дорожньому просторі, що забезпечує їм більшу свободу руху в міських умовах. Цей факт також вимагає перевірки, результати якої дадуть відповідь на питання щодо можливості застосування гіпотези щодо відповідності коливань ШР ТЗ гамма-розподілу.

Мета та постановка задачі. Метою роботи є подальша перевірка висунутої в роботі [4] гіпотези щодо можливості використання гамма-розподілу для опису ШР ТЗ в різноманітних дорожніх ситуаціях, а також щодо зв'язку між умовами руху і параметром форми цього розподілу.

Інтегральним показником, який достатньо характеризує умови руху ТЗ, є середня швидкість руху на конкретній ділянці дороги в певних умовах. Ця величина в основному залежить від поведінки водіїв в конкретній дорожній ситуації і може бути легко визначена за допомогою натурних спостережень.

Тому для досягнення поставленої мети необхідно встановити статистичний зв'язок між середньою ШР автомобілів і параметром форми гамма-розподілу, для чого необхідно оцінити її значення в більш складних умовах руху, ніж були розглянуті раніше. Це дасть можливість розширити межі статистичного ряду експериментальних значень для проведення регресійного аналізу та встановлення досліджуваного зв'язку.

До того ж, необхідно підвищити рівень впевненості щодо ступеня спільності гіпотези про зв'язок між розподілом ШР, який висунуто в роботах [3, 4], і умовами руху його учасників. Для цього доцільно оцінити ШР двоколісних ТЗ перед стоп-лінією міського регульованого перехрестя. Більша свобода руху таких ТЗ повинна привести до меншої трансформації нормально розподіленої в вільних умовах ШР, ніж це характерно для автомобілів. Для забезпечення порівняння результатів спостереження повинні бути збережені загальні умови проведення експерименту.

При цьому необхідно усвідомлювати, що проведення активного експерименту призводить до необхідності свідомого ускладнення умов руху ТЗ і практично не може бути реалізованим. Такі дії регулюються пунктами 1.5, 1.6 та 1.8 Правил дорожнього руху України [9], які не дозволяють проводити їх без відповідних законодавчих обґрунтувань, до переліку яких наукові дослідження не відносяться.

Тому продовження експериментальних досліджень повинно здійснюватися в формі пасивного

експерименту (спостереження) з виконанням вимог збереження спільності умов обмеження свободи руху для всіх ТЗ, а також додатковим ускладненням умов руху для автомобілів. Таким умовам відповідає ситуація, що виникає перед стоп-лінією міського регульованого перехрестя. Для неї можливе ускладнення умов руху при розгляді такого підходу до перехрестя, в якому як частка сигналу, що дозволяє рух, в тривалості циклу, так і його абсолютна тривалість будуть менше, ніж аналогічні показники тривалості циклу світлофорного регулювання та його елементів, що розглянуті в попередніх спостереженнях [3].

Характеристикою ШР, яку можливо оцінити, є середня швидкість перетину корпусом ТЗ поперечного перерізу дороги перед стоп-лінією перехрестя, методика вимірювання якої детально описана в [3].

Результати досліджень

Вимірювання ШР ТЗ перед стоп-лінією міського регульованого перетину доріг на підході другорядного напрямку. Поставлена мета ускладнення умов проїзду автомобілями світлофорного об'єкта в місті може бути досягнута при виборі для обстеження другорядного напрямку на міському регульованому перетині доріг з тривалим циклом світлофорного регулювання. Цим умовам добре відповідає ділянка прилягання проспекту Перемоги до вулиці Клочківської, на якій дві смуги руху призначені для повороту ліворуч, для виконання якого в циклі виділений основний такт, рис. 1.

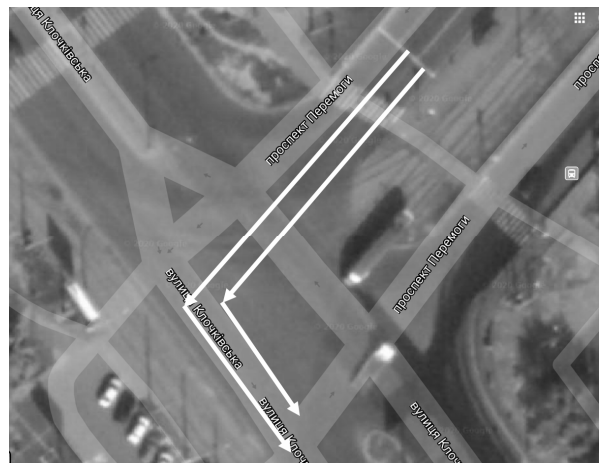


Рис. 1. Світлофорний об'єкт, обраний для проведення спостережень за ШР автомобілів

Ця ділянка прилягання має велику площу і гарне дорожнє покриття, що забезпечує досить вільні умови руху на об'єкті, тобто не обмежує ШР автомобілів при старті від стоп-лінії і надалі при розгоні. Тому умови спостереження за ШР автомобілів безпосередньо перед стоп-лінією можна вважати схожими з умовами руху автомобілів в попередньому експерименті [3].

Водночас умови світлофорного регулювання на обраному напрямку обстеження помітно відрізняються від аналогічних умов в попередньому експерименті [3], табл. 1.

Таблиця 1 – Характеристика циклів світлофорного регулювання

Назва перетину доріг	Тривалість, с		Частка фази, що дозволяє рух, %
	циклу	фази, що дозволяє рух	
Вул. Я. Мудрого – Вул. Алчевських	60	20	33,3
Пр. Перемоги – Вул. Ключківська	90	16	17,8

Зважаючи на дані з табл. 1, тривалість фази, що дозволяє руху, для обраного напрямку на новому перетині доріг не є гранично низькою й дорівнює 16 с. У відносному вигляді вона зменшилася на 25 % в порівнянні з попередніми спостереженнями. Проте значно, майже вдвічі, зменшилася частка фази, що дозволяє рух, в циклі для досліджуваного напрямку. Це створює тверде підґрунтя для проведення дослідження на даному перетині, так як спостереження такого роду розширить ряд значень швидкості, що характеризує умови проїзду обраної ділянки.

Спостереження проводилися протягом однієї години робочого дня, п'ятниці, 10 січня 2020 року за допомогою відео-фіксації процесу проїзду автомобілями поперечного перерізу пр. Перемоги безпосередньо перед стоп-лінією перетину доріг по двох смугах. В результаті обробки відеоматеріалів отримано 260 значень часу проїзду автомобілів власного габариту через поперечний переріз дороги і, власне, значень довжини автомобілів, рис. 2.

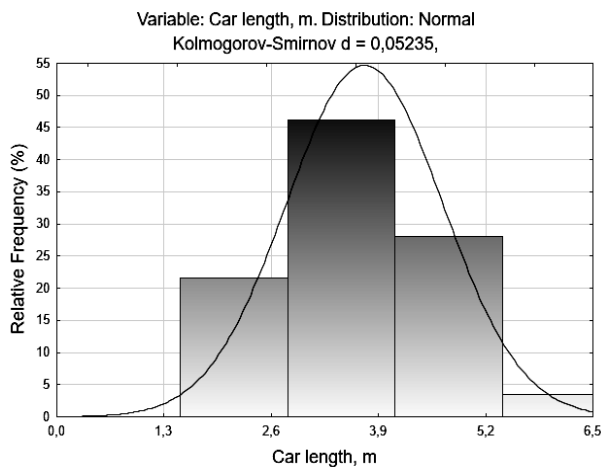


Рис. 2. Розподіл довжини корпусу автомобілів, що охоплені спостереженням

Відповідність розподілу довжини автомобілів, які охоплені спостереженням, нормальному закону підтверджено значенням категорійного критерія Колмогорова-Смирнова, яке виявилось значно менше табличного, що дорівнює 0,381 для цього випадку, і 20% довірчої ймовірності [10]. Це свідчить про правомірність використання отриманого набору спостережень для формування масиву ШР перед стоп-лінією міського регульованого перетину в нових умовах, табл. 2.

Значення, які наведено в табл. 2, свідчать на користь гіпотези про те, що при зниженні середньої ШР ТЗ відбувається відносно зростання її стандартного відхилення, що в підсумку призводить до зни-

ження параметра форми. У порівнянні із попереднім досвідом [3], середня швидкість зменшилася з 5,30 до 2,42 м/с, тобто в 2,2 рази, а стандартне відхилення з 4,94 до 3,00 м/с, тобто в 1,45 рази.

Таблиця 2 – Статистична характеристика значень ШР автомобілів перед стоп-лінією перетину доріг

Характеристика вибірки	Значення, м/с
Кількість спостережень, од.	260
Мінімум	0,03
Максимум	11,50
Математичне очікування	2,423
Стандартне відхилення	3,005
Параметр масштабу гамма-розподілу	3,719
Параметр форми гамма-розподілу	0,651

Проте в даному випадку зростання стандартного відхилення виявилось значним, і зрештою параметр форми гамма-розподілу прийняв значення менше, ніж одиниця. Тому при використанні методу моментів в підборі теоретичного закону його результати для гамма-розподілу виявилися незадовільними, рис. 3.

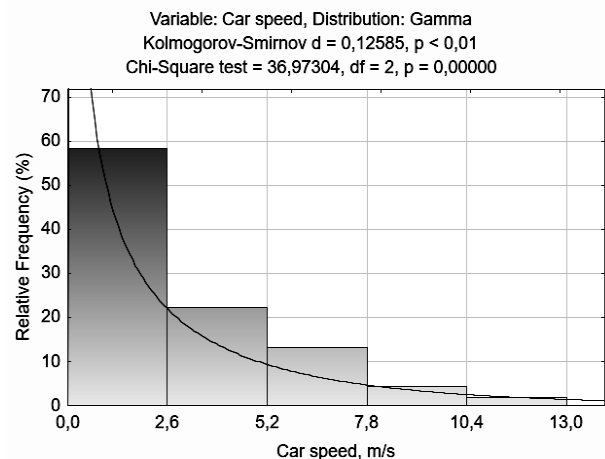


Рис. 3. Гама-розподіл ШР автомобілів, що отриманий за допомогою методу моментів

Однак, використовуючи метод максимальної правдоподібності, результати переконливо свідчать про можливість використання гамма-розподілу для опису ШР автомобілів і в останньому випадку, рис. 4.

Параметри гамма-розподілу, що підібраний методом максимальної правдоподібності, склали: масштаб - 3,011 і форма - 1,005.

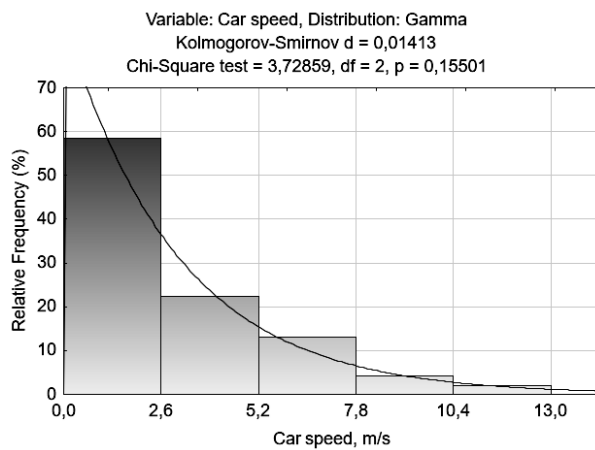


Рис. 4. Гама-розподіл ШПР автомобілів, що отриманий за допомогою методу максимальної правдоподібності

При таких параметрах математичне очікування гамма-розподілу приблизно дорівнює стандартному відхиленню, і обидва близькі до значення параметра масштабу. Загалом, значення параметра форми гамма-розподілу, що близьке до одиниці, свідчить про можливість опису емпіричного розподілу ШПР автомобілів перед стоп-лінією показниковим законом, що підтвердилося при відповідній перевірці, рис. 5.

Дані результати свідчать на користь гіпотези про можливість використання гамма-розподілу для опису ШПР ТЗ, а також створюють основу для встановлення статистичного зв'язку між математичним

очікуванням швидкості і параметром форми гамма-розподілу.

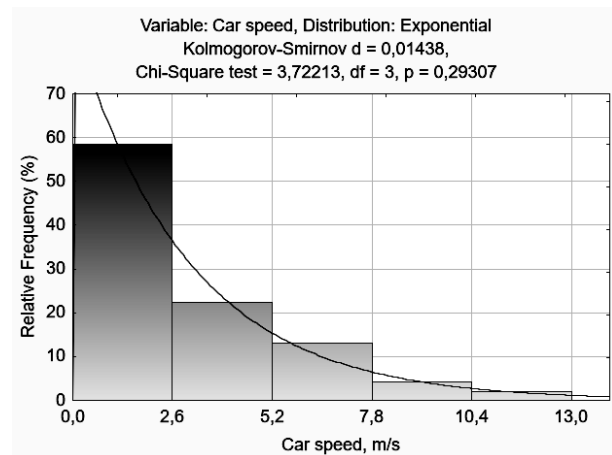


Рис. 5. Показниковий розподіл ШПР автомобілів, що отриманий за допомогою методу максимальної правдоподібності

Встановлення статистичного зв'язку між математичним очікуванням швидкості і параметром форми гамма-розподілу. Цей зв'язок можна оцінити після складання відповідного статистичного ряду, який отримано з доступних даних, враховуючи дане дослідження. Відповідні для цієї мети дані зведено до табл. 3, із зазначенням джерела, звідки вони були взяті.

Таблиця 3 – Результати дослідження ШПР в різноманітних умовах, м/с

Середня швидкість, v	Стандартне відхилення	Форма гама-розподілу	Джерело
2,42	3,00	0,649	–
5,30	4,94	1,151	[3]
5,99	2,32	6,666	[4]
12,08	3,06	15,638	[6]
13,24	4,19	9,989	[6]
14,17	4,72	9,025	[6]
14,78	5,18	8,143	[6]
15,48	4,91	9,928	[11]
16,36	4,08	16,054	[12]
23,14	4,78	23,455	[13]

Ці дані були оброблені в пакеті аналізу Excel, в результаті чого отримана найпростіша регресійна залежність між параметром форми гамма-розподілу n і середньою швидкістю v :

$$n = 0,85 \cdot v. \quad (1)$$

Отримана модель має настільки переконливі статистичні параметри, що пошук більш сильних варіантів статистичного зв'язку між незалежною та результуючою ознаками далі можна не продовжувати, табл. 4.

Настільки сильний лінійний зв'язок між параметром форми гамма-розподілу і середньою шви-

дкістю переконливо свідчить на користь можливості використання гамма-розподілу для опису коливання ШПР автомобілів в різних умовах.

Оцінка розподілу ШПР мотоциклів перед стоп-лінією перетину доріг. Така оцінка проводиться з метою перевірки гіпотези про можливість використання гамма-розподілу для опису коливання ШПР інших ТЗ, відмінних від автомобілів, а також для оцінки можливості використання статистичної залежності (1) при описі ШПР мотоциклів. Обстеження проводилося на перехресті вулиць Cat Linh-An Trach і Trinh Noi в столиці В'єтнаму, Ханой, 10 грудня 2018 року, з 9⁰⁰ до 11⁰⁰, рис. 6.

Таблиця 4 – Статистична характеристика моделі (1)

Показник моделі	Значення
Множинний R	0,963
R-квадрат	0,928
Нормований R-квадрат	0,817
Стандартна похибка	3,402
Кількість спостережень	10
Інформаційна спроможність моделі	4,88735E-06
Стандартна похибка коефіцієнта	0,079
t-статистика коефіцієнта	10,763
P-значення коефіцієнта	1,93E-06



Рис. 6. Ділянка вулиці Cat Linh-An Trach, обрана для проведення спостережень за ШПР мотоциклів

Тривалість світлофорного циклу на перетині складає 95 с, з яких 80 с триває основний такт по вулиці Cat Linh-An Trach, рух мотоциклів якою є об'єктом вивчення. Процес оцінки часу проїзду відстані, що дорівнює габариту мотоциклів, виявився значно трудомістким через невеликі габарити цих ТЗ, тому з усього обсягу спостережень оцінено 300 значень ШПР мотоциклів, табл. 5.

Таблиця 5 – Статистична характеристика значень швидкості руху мотоциклів перед стоп-лінією перетину доріг

Характеристика вибірки	Значення, м/с
Кількість спостережень, од.	300
Мінімум	0,07
Максимум	12,73
Математичне сподівання	5,508
Стандартне відхилення	2,463
Параметр масштабу гамма-розподілу	1,102
Параметр форми гамма-розподілу	4,999

Ці результати доволі відрізняються від ШПР автомобілів перед стоп-лінією як за значенням середньої ШПР і стандартного відхилення, так і за параметром форми гамма-розподілу, який у випадку з

мотоциклами має високе значення, значно більше одиниці. Цей випадок за результатами близький до випадку звуження проїзної частини вулиці для автомобілів [4], який надає більше свободи руху, ніж регульований перетин. Проте, при використанні залежності (1), параметр форми дорівнював би $n = 0,85 \cdot 5,508 = 4,681$. Це значення лише на 6,37% менше параметру форми гамма-розподілу, який отримано в результаті спостережень. Така дотичність може свідчити про спільність залежності (1) для оцінки параметрів гамма-розподілу ШПР як автомобілів, так і мотоциклів. Однак для мотоциклів вважати цей факт підтвердженням після однієї перевірки передчасно.

Водночас не спростовується й гіпотеза про можливість використання гамма-розподілу для опису коливання значень ШПР мотоциклів, про що свідчать результати підбору методом моментів цього розподілу під емпіричний ряд швидкостей, що зображено на рис. 7. До того ж, отриманий ряд ШПР мотоциклів досить добре може бути описаний нормальним розподілом, рис. 8.

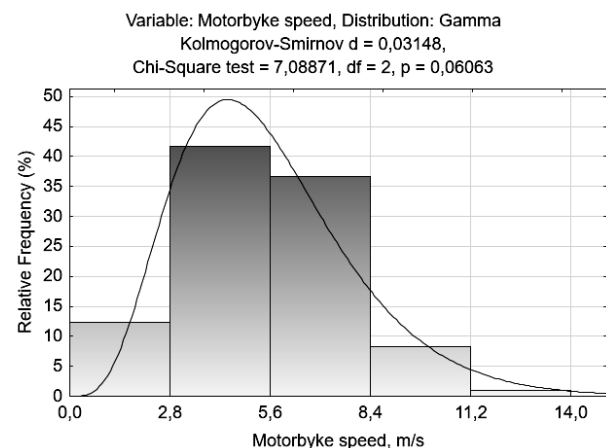


Рис. 7. Гамма-розподіл ШПР мотоциклів, що отриманий за допомогою методу моментів

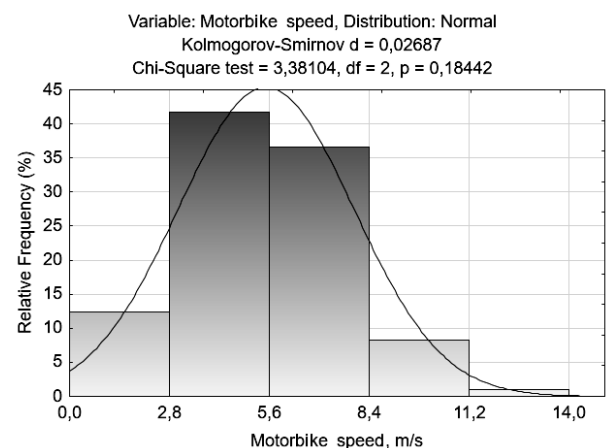


Рис. 8. Нормальний розподіл ШПР мотоциклів, що отриманий за допомогою методу моментів

Такий двічі позитивний для мотоциклів результат, враховуючи результати попередніх досліджень [3, 4], може вважатися достатнім для оста-

точного висновку про можливість використання гамма-розподілу при описі коливання значень ШР. Проте, для того, щоб використовувати його для інших ТЗ, відмінних за своїми габаритними і швидкісними параметрами від легкових автомобілів, необхідно додатково оцінити статистичний зв'язок між математичним очікуванням і параметром форми гамма-розподілу ШР відповідних ТЗ в різних умовах руху.

Висновки

Ускладнення умов руху автомобілів на перетині доріг, що викликане абсолютним і питомим скороченням основного такту світлофорного циклу для досліджуваного напрямку руху, призводить до зниження середньої швидкості руху, при якому спостерігається відносне зростання її стандартного відхилення, що в підсумку призводить до зниження параметра форми гамма-розподілу, а також його наближення до одиниці.

У складних умовах руху швидкості автомобілів добре описується показниковим законом розподілу, що свідчить на користь гіпотези щодо можливості використання гамма-розподілу для опису коливання значень швидкості руху.

Ця гіпотеза також підтверджується близьким статистичним зв'язком між параметром форми гамма-розподілу і середньою швидкістю руху автомобілів, що отримано на основі спостережень за швидкості руху в різних країнах, в різних дорожніх умовах. Відповідно до залежності (1) близький до прогнозу параметр форми гамма-розподілу також виявлено у зафіксованому ряді швидкості руху мотоциклів.

Для опису коливання значень швидкості руху мотоциклів перед стоп-лінією перетину також підлягає гамма-розподіл з параметром форми, що значно вище одиниці, і нормальний розподіл, що свідчить про універсальний характер висунутої гіпотези.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Cascetta E. *Transportation Systems Engineering: Theory and Methods*, Springer US, Boston, 2001, 710 p.
2. Говорущенко Н. Я. Системотехника автомобільного транспорту (расчётные методы исследований). Монографія. 2011. Харків. ХНАДУ. 292 с.
3. Макаричев А. В. Распределение скорости движения автомобилей перед стоп-линией городского регулируемого перекрёстка. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. Харьков, ХНАДУ, 2019. Вып. 85. С. 107-116.
4. Макаричев А. В., Горбачёв П. Ф., Минь В. Д., Горбачёва Е. А. Влияние ширины проезжей части на скорость движения автомобилей в городских условиях. *Автомобильный транспорт*. Харьков: ХНАДУ, 2019. Вып. 43. С. 93-102.
5. Berry D.S., Belmont D.M. Distribution of vehicle speeds and travel times, *Proc. Second Berkeley Symp. on Math. Statist. and Prob.*, Univ. of Calif. Press, California, 1951. P. 589-602. Available at: <https://projecteuclid.org/euclid.bsmmsp/1200500257>
6. Maurya A. K., Dey S., Das S. Speed and Time Headway Distribution under Mixed Traffic Condition. *Indian Institute of Technology Guwahati, India*, 2015. 19 p.
7. Minh C.C., Sano K., Matsumoto S. The speed, flow and headway analyses of motorcycle traffic, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 2005. Vol. 6. P. 1496-1508.
8. Nguyen Cao Y, Minh C. C., Sano K., Matsumoto S. Motorcycle Equivalent Units at Road Segments under Mixed Traffic Flow in Urban Road, *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 2009. Vol. 7. 14 p.
9. Правила дорожнього руху (затверджені постановою Кабінету Міністрів України №1306 від 10.10.2001 зі змінами).
10. Гнеденко Б. В., Беляев Ю. К., Соловьев А. Д. Математические методы в теории надежности. Москва: Наука, 1965. 524 с.
11. Rao A.M., Rao K.R. Free Speed Modeling for Urban Arterials – A Case Study on Delhi, *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*. 2015. No. 43(3). P. 111-119.
12. Dhamaniya A., Chandra S. Speed Characteristics of Mixed Traffic Flow on Urban Arterials, *International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering*, 2013. Vol. 7, No. 11. P. 883-888.
13. Free speed survey 2011 (Urban and Rural), Research Department, Road Safety Authority, 2012. Ireland. 50 p.

REFERENCES

1. Cascetta, E., (2001), *Transportation Systems Engineering: Theory and Methods*, Springer US, Boston, 710 p.
2. Govoruschenko, N.Ya., (2011), *System engineering of automobile transport (calculated methods of researching)*, Monografiya, KhNADU, Kharkiv, 292 p.
3. Makarichev, A.V., (2019), "Distribution of automobile speed in the stop-line front of the urban signalized intersection", *Vestnik Harkovskogo natsionalnogo avtomobilno-dorozhnogo universiteta*, KhNADU, Kharkiv, No. 85, pp. 107-116.
4. Makarichev, A.V., Horbachov, P.F., Min, V.D. and Horbachova, V.A., (2019), "The influence of carriageway width on the automobile speed in city conditions", *Avtomobilnyi transport*, KhNADU, Kharkiv, No. 43, pp. 93-102.
5. Berry, D.S. and Belmont, D.M. (1951), "Distribution of vehicle speeds and travel times", *Proc. Second Berkeley Symp. on Math. Statist. and Prob.*, Univ. of Calif. Press, California, pp. 589-602, available at: <https://projecteuclid.org/euclid.bsmmsp/1200500257>
6. Maurya, A.K., Dey, S. and Das, S. (2015), "Speed and Time Headway Distribution under Mixed Traffic Condition", *Indian Institute of Technology Guwahati, India*, 19 p.
7. Minh, C.C., Sano, K. and Matsumoto, S. (2005), "The speed, flow and headway analyses of motorcycle traffic", *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 6, pp. 1496-1508.
8. Nguyen, Cao Y, Minh, C.C., Sano, K. and Matsumoto, S. (2009), "Motorcycle Equivalent Units at Road Segments under Mixed Traffic Flow in Urban Road", *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 7, 14 p.
9. (2010), *Traffic rules*, Resolution of Cabinet of Ministers of Ukraine.
10. Gnedenko, B.V., Belyaev, Yu.K. and Solovjev, A.D. (1965), *Mathematical methods in reliability engineering*, Science, Moscow, 524 p.

11. Rao, A.M. and Rao, K.R., (2015), "Free Speed Modeling for Urban Arterials – A Case Study on Delhi", *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, No. 43(3), pp. 111-119.
12. Dhamaniya, A. and Chandra, S. (2013), "Speed Characteristics of Mixed Traffic Flow on Urban Arterials", *International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering*, Vol. 7, No. 11, pp. 883-888.
13. (2012), *Free speed survey 2011 (Urban and Rural)*, Research Department, Road Safety Authority, Ireland, 50 p.

Received (Надійшла) 30.03.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 13.05.2020

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Горбачов Петро Федорович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри транспортних систем і логістики, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна;

Peter Horbachov – Doctor of Science (Transport Systems), Professor, Head of Transport Systems and Logistics Department, Kharkiv National Automobile and Highway University, 61002, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: gorbachov.pf@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8180-4072>.

Ву Дик Минь – аспірант, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна;

Vu Dic Minh – doctoral student, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: vdmnh1969@yahoo.com.vn; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4753-3694>

Штанько Ігор Ігорович – магістрант, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна;

Ihor Shtanko – master's degree student, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine

email: shtanko000@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3935-5322>

Закономерности распределения скорости движения транспортных средств на городских улицах

П. Ф. Горбачев, В. Д. Минь, И. И. Штанько

Аннотация. Проблема. Целью исследований скорости движения транспортных средств является определение общих тенденций скорости, определение ее рациональных границ, оценка уровня безопасности движения, прогнозирование объема выбросов вредных веществ в атмосферный воздух и интегральная оценка времени поездки в городских сетях, учитывая случайный характер этой величины. Особую актуальность задача ее оценки приобретает в городских условиях, когда условия движения не могут считаться свободными. Возникающие здесь транспортные ситуации часто ограничивают пространство и время для осуществления маневров, так же, как и сокращают набор маневров для водителей. Разная реакция водителей на возникающие в движении сложности может приводить к росту уровня случайности скорости, что требует очень внимательного отношения к параметрам ее распределения. Предыдущие исследования в этом направлении подтвердили такие тенденции, но не позволили сделать окончательных выводов о характере распределения скорости транспортных средств на городских улицах. **Цель.** Проверить справедливость гипотезы о возможности описания колебаний скорости движения однотипных транспортных средств в различных условиях гамма-распределением. **Методология.** Статистическая оценка фактических значений скорости движения транспортных средств перед стоп-линией городского регулируемого перекрестка с помощью теоретического закона распределения и регрессионного анализа связи между математическим ожиданием и параметром формы гамма-распределения скорости движения. **Результаты.** Подтверждено справедливость гипотезы о возможности использования гамма-распределения для описания колебания значений скорости движения однотипных транспортных средств в различных условиях. **Оригинальность.** Проведена оценка скорости автомобилей и мотоциклов в новых условиях движения. **Практическая значимость.** Полученные результаты позволяют повысить точность прогнозов скорости движения в аналитических и имитационных моделях функционирования транспортных сетей.

Ключевые слова: скорость движения; автомобиль; мотоцикл; регулируемый перекресток; случайная величина; закон распределения.

Distribution regularities of motor vehicle speed on city streets

P. Horbachov, V.D. Minh, I. Shtanko

Abstract. Problem. The purpose of vehicle speed studies is to identify general trends in speed and its rational limits, to assess the level of traffic safety, to forecast harmful emissions into the air and to provide an integrated assessment of travel time in urban networks that takes into account the random nature of this variable. Its assessment is particularly relevant in urban environments where traffic conditions cannot be considered free. Transport situations here often limit space and maneuver time, as well as reducing opportunities for drivers. Different drivers' reactions to the difficulties in traffic can lead to an increase in the level of speed randomness, which requires very careful attention to the parameters of its distribution. Previous studies in this direction have confirmed such trends but have not let definitive conclusions about the nature of speed distribution in urban streets. **Goal.** Testing the hypothesis that the gamma distribution is suitable to describe the speed oscillations of the same type of vehicles in different conditions. **Methodology.** Statistical evaluation of vehicle speed actual values in the stop-line front of the urban signalized intersection by means of the distribution theoretical law and regression analysis of the relationship between the mathematical expectation and the form parameter of the gamma distribution of speed. **Results.** The hypothesis that the gamma distribution can be used to describe oscillations in the speed of similar vehicles under different conditions has been confirmed. **Originality.** The speed of cars and motorcycles under new driving conditions was assessed. **Practical value.** The obtained result allows increasing accuracy of the car and motorcycles speed prediction in analytical and simulation models of transport networks functioning.

Keywords: driving speed; car; motorcycle; signalized intersection; random variable; distribution law.