

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ ПРИМІСЬКИХ ЗОН МІСТ УКРАЇНИ

Лановий О.Т., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, al.lanovoy@gmail.com, orcid.org/ 0000-0002-0717-9870

Кисельов В.Б., доктор технічних наук, Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського, Київ, Україна, kvbglush1953@gmail.com, orcid.org/0000-0003-3437-2825

Кошарний О.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, o.kosharnyi@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5969-4858

Ліплява Т.М., Національний транспортний університет, Київ, Україна, tanyalipliava.99@gmail.com, orcid.org/0009-0002-5103-4932

EXPERIMENTAL RESEARCH CHARACTERISTICS TRAFFIC FLOWS ON THE ROADS OF THE SUBURBAN ZONES OF THE CITIES OF UKRAINE

Lanovyi O.T., Doctor of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, al.lanovoy@gmail.com, orcid.org/ 0000-0002-0717-9870

Kiselyov V.B., Doctor of Technical Sciences, Tavriya National University named after VI Vernadsky, Kyiv, Ukraine, al.lanovoy@gmail.com, orcid.org/0000-0003-3437-2825

Kosharnyi O.M., Candidate of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, o.kosharnyi@gmail.com, orcid.org/ 0000-0002-5969-4858

Lipliava T.M., National Transport University, Kyiv, Ukraine, tanyalipliava.99@gmail.com, orcid.org/0009-0002-5103-4932

Постановка проблеми. Складність спільного руху місцевих та транзитних транспортних потоків приміськими дорогами, а також можливість руху окремих транспортних засобів рухатися різними маршрутами для досягнення своєї мети поїздки, вимагає розгляду декількох окремих задач. Для рішення кожної з них необхідним є самостійний підхід, а також розробка окремих методик експериментальних досліджень [1-10].

Ефективність устрою зручних високошвидкісних вхідних і кільцевих доріг у приміських зонах багато в чому визначається зменшенням часу і підвищенням зручності руху, що, у свою чергу, залежить від розташування дороги для можливого маршруту поїздки з використанням місцевої мережі автомобільних доріг і ступеня задоволення вимог транспортних потоків у частині організації їх руху автомобільними дорогами приміських зон міст України.

Разом з тим, для повної характеристики вибору водіями маршрутів руху з використанням автомобільних доріг, розташованих у приміських зонах міст України, та перевірки раніше висловлених припущень, уявляється доцільним розширити рамки експерименту [11-22].

Метою роботи є публікація отриманих характеристик транспортних потоків на автомобільних дорогах приміських зон міст України.

Виклад основного матеріалу дослідження. Формування об'ємів руху місцевих та транзитних транспортних потоків на кільцевих автомобільних дорогах.

Для виявлення можливого ухвалення рішення про вибір водіями маршрутів руху з використанням автомобільних доріг приміських зон міст України була розроблена методика визначення розподілів інтенсивності руху різних потоків по окремих ділянках доріг у залежності від тяжіння різних маршрутів до певних регіонів країни або радіальних магістральних доріг (входів у міста), а також інші аспекти формування інтенсивності руху автомобільними дорогами.

Процес формування інтенсивності руху на розглянутих дорогах змінюється в часі і по напрямках.

За часом, також відбуваються коливання інтенсивності руху сезонні, по днях тижня і по годинах доби [23].

Для того, щоб виявити сезонні коливання інтенсивності руху, спостереження проводилися один раз наприкінці кожного місяця, коли обсяг руху не нижче, ніж в інші дні місяця. При цьому також фіксувався склад потоку по групах транспортних засобів: легкові, вантажні, автобуси, автопоїзди та ін.

У такий спосіб було виявлено, що найменша інтенсивність руху спостерігається в зимовий період. Це відбувається через те, що в цей час значно менше використовується особистий транспорт. Найбільша інтенсивність руху спостерігається в липні – серпні, коли крім інтенсивного вантажного руху, що обслуговує промислові та торгівельні підприємства, збільшуються перевезення сільгосппродуктів нового врожаю при істотному збільшенні використання особистих автомобілів через поїздки населення до місць масового відпочинку.

Не існує також істотних відмінностей у формуванні інтенсивності руху й по днях тижня: найбільші значення її – у п'ятницю (у суботу інтенсивність трохи знижується через менше використання вантажного транспорту).

Тому, при визначенні максимальних значень інтенсивності руху спостереження варто робити в літню пору року, день тижня – п'ятниця. У цей час інтенсивність руху, що спостерігається, досягає максимальних значень.

Для оцінки добових значень інтенсивності руху був обраний 15-хвилинний інтервал із запасом у порівнянні з необхідним рівнем вірогідності його визначення при будь-яких значеннях відносно середньоквадратичного відхилення числа автомобілів, що прибувають до створу спостереження, до середнього числа транспортних засобів, що прибували.

Формування інтенсивності руху за напрямками обумовило визначені відмінності розподілу її по годинах доби від аналогічного розподілу на приміських дорогах і міських вулицях, де спостерігаються, як правило, два «піки» інтенсивності руху – ранковий і вечірній. На кільцевих дорогах таких яскраво виражених «піків» інтенсивності руху не спостерігається. Тут скоріше варто казати про «піковий» період, що продовжується від 9 – 11 години до 17 – 19 год.

Наявність «пікового» періоду може бути пояснено неоднозначністю розташування різних ділянок доріг стосовно до різних регіонів країни та їх економічного розвитку, а також формуванням транспортних потоків по напрямках у різний час доби: у ранкові години трохи переважає рух особистих автомобілів (ділові поїздки), потім переважним стає вантажний рух; у другій половині дня (через далекість міст одне від одного) у транспортному потоці усе більше проявляється транзитний рух. У результаті такого перерозподілу протягом світлового дня й спостерігається період підвищеної інтенсивності руху («піковий» період). Інтенсивність руху падає наприкінці дня, коли обсяг вантажних перевезень зменшується, а більшість водіїв легкових автомобілів досягає місць проживання.

Вищенаведені факти надали підставу до вивчення розподілу інтенсивності руху не тільки по годинах доби, але і за напрямками у залежності від тяжіння транспортних потоків у визначені регіони країни або інші райони, куди вони рухаються транзитом.

Для визначення інтенсивностей руху за напрямками розроблена методика фіксації номерних знаків і марок транспортних засобів у створах з'їздів транспортних розв'язок, як найбільш «вузьких» місць автомобільних доріг. Ця інформація необхідна для оцінки існуючих умов руху, тому що вона дозволяє опосередковано судити про основні напрямки руху транспортних потоків і, таким чином, після одержання всього обсягу інформації, створити загальну картину роботи автомобільної дороги у приміській зоні.

У табл. 1 як приклад наведено дані спостережень за характеристиками транспортних потоків у районі транспортної розв'язки за типом повного «чотирилистника».

Порівняльний аналіз умов руху автомобільними дорогами приміських зон та вулично-дорожніми мережами міст

Для порівняльної оцінки умов руху необхідно визначити:

а) фактичні швидкості руху транспортних засобів, які рухаються автомобільними дорогами приміських зон та вулично-дорожніми мережами міст;

б) затримки часу, причини, що їх викликали, а також частку від загального часу в дорозі при русі автомобільними дорогами приміських зон та вулично-дорожніми мережами міст.

Дослідження проводилися за методом рухомого спостерігача [24-26]. Автомобіль проїздить експериментальні ділянки в обох напрямках. При цьому фіксується:

– кількість автомобілів, що рухаються назустріч дослідницькому автомобілю під час руху в прямому (n_p) і зворотному (n_z) напрямках;

– кількість автомобілів, що обганяють дослідницький автомобіль у прямому (P_p) і зворотному (P_z) напрямках;

– кількість автомобілів, що дослідницький автомобіль обганяє в прямому (Q_p) і зворотному (Q_z) напрямках.

Таблиця 1 – Формування інтенсивності за напрямками в залежності від мети руху автомобільною дорогою

Table 1 – Formation of intensity by direction depending on the purpose of traffic on the road

№ з'їзду, в'їзду	Регістрація транспортних засобів, %			Частка з'їзду, в'їзду	Максимальна інтенсивність руху, авт/г
	міська	позаміська	транзит		
I	2	3	4	5	6
I	72	24	4	30 – 55	400 – 580
II	60	28	12	25 – 35	180 – 330
III	56	33	11	40 – 45	500 – 700
IV	67	21	12	40 – 50	400 – 600
V	43	35	22	20 – 25	250 – 350
VI	40	39	21	25 – 35	200 – 350
VII	46	38	16	25 – 30	250 – 300
VIII	50	30	20	30 – 35	300 – 400

Інтенсивність руху визначається в такий спосіб:

– у прямому напрямку:
$$n_n = \frac{60 \cdot (n_z + Q_n - P_n)}{T_n + T_z}; \quad (1)$$

– у зворотному напрямку:
$$n_z = \frac{60 \cdot (n_n + Q_z - P_z)}{T_n + T_z}. \quad (2)$$

Середній час руху потоку:

– у прямому напрямку:
$$\bar{T}_n = T_n - \frac{60 \cdot (Q_n - P_n)}{n_n}; \quad (3)$$

– у зворотному напрямку:
$$\bar{T}_z = T_z - \frac{60 \cdot (Q_z - P_z)}{n_z}. \quad (4)$$

Кількість проїздів визначалося за формулою для випадкової повторної вибірки [106]:

$$n = \frac{t^2 \cdot \sigma^2}{\Delta^2}, \quad (5)$$

де t – функція довірчої імовірності, $t = 1,96$; σ – середнє квадратичне відхилення. При нормальному законі розподілу швидкостей руху різниця між максимальними і мінімальними швидкостями, що спостерігаються, характеризуються розкидом від 60 до 15 км/г. При розкиді $R=6\sigma$: $\sigma = 7,5$ км/г; Δ – величина допустимої помилки. У даному випадку швидкість визначається за спідометром і Δ складає ± 5 км/г. Таким чином:

$$n = \frac{1,96^2 \cdot 7,5^2}{5^2} \approx 9. \quad (6)$$

Було виконано по 9 заїздів по маршрутах вулично-дорожньої мережі і по маршрутах з використанням автомобільних доріг приміських зон. Кожен маршрут був поділений на ділянки у відповідності з умовами руху на них.

Дослідження проводилися вдень, коли місцева мережа автомобільних доріг найбільш завантажена. Хоча, на дивлячись на останнє, інтенсивність руху на деяких найнавантажених ділянках досягала ледве 900 авт/добу.

Затримки на зупинки в дорозі фіксувалися за допомогою двох секундомірів: на одному із секундомірів накопичувався сумарний час руху, на іншому – сумарний час зупинок.

Дослідження показали, що при русі місцевою мережею автомобільних доріг зупинки на перехрестях займали приблизно 5 – 6% часу руху тут. При цьому середньозважена швидкість руху приміськими автомобільними дорогами (*ПрАД*) склала 43,9 км/г (табл. 2).

При русі по маршрутах з використанням приміської дороги зупинки дослідницького автомобіля в районі транспортної розв'язки складали 1% від загального часу руху або їх взагалі не було. Середньозважена швидкість руху склала 70,4 км/г.

Таблиця 2 – Транспортно-експлуатаційні характеристики маршрутів руху
Table 2 – Transport and operational characteristics of traffic routes

Маршрути	Довжина, км	Кількість ТЗ			Час руху ТЗ, с	Час зупинок ТЗ, с	Час руху ТП, с	Інтенсивність руху, авт/г	Середня швидкість руху, км/г	Середня швидкість ТП, км/г
		тих, яких випередили	тих, які випередили	зустрічних						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>ВДМ_n</i>	8,2	11	6	167	680	42	721	438	43,4	40,9
<i>ВДМ_з</i>	8,5	10	8	175	718	62	734	450	42,7	41,9
<i>ПраД_n</i>	8,4	30	5	268	400	2	485	1063	75,6	62,4
<i>ПраД_з</i>	8,0	32	0	250	360	0	463	1115	80,0	62,2
<i>ВДМ_n</i>	8,0	9	4	139	600	11	636	502	48,0	45,3
<i>ВДМ_з</i>	8,6	13	3	185	690	20	790	360	44,7	39,2
<i>ПраД_n</i>	10,2	29	3	196	530	5	652	767	69,3	56,3
<i>ПраД_з</i>	10,4	31	4	254	540	3	647	905	69,3	57,9
<i>ВДМ_n</i>	8,6	10	3	231	780	33	820	626	39,7	37,8
<i>ВДМ_з</i>	8,8	14	2	285	820	30	903	515	38,9	35,3
<i>ПраД_n</i>	11,5	31	1	299	640	4	793	708	64,7	52,2
<i>ПраД_з</i>	11,7	27	2	287	665	7	780	756	63,3	54,0
<i>ВДМ_n</i>	10,3	40	14	343	764	60	889	751	48,5	41,7
<i>ВДМ_з</i>	10,4	31	13	411	793	69	866	890	47,2	43,2
<i>ПраД_n</i>	20,8	37	1	332	1296	25	1607	416	57,8	46,7
<i>ПраД_з</i>	21,0	43	3	357	1310	37	1562	443	57,7	48,4

Аналогічні дані, отримані для транспортного потоку, склали: при русі вулично-дорожньою мережею – 40,7 км/г, при русі з використанням приміської дороги – 53,1 км/ч. Отримані значення швидкості значно нижче, що ще раз підтверджує істотний вплив на швидкість руху транспортного потоку його складу й інтенсивності.

Порівнюючи між собою швидкості при русі окремо місцевою мережею автомобільних доріг та окремо при русі по маршруту з використанням приміської дороги бачимо, що тут відмінності також істотні:

– місцевою мережею автомобільних доріг максимальні значення швидкості на маршрутах складають: для дослідницького автомобіля – 48,5 км/г, для потоку – 45,3 км/г; те ж, мінімальні – відповідно – 36,9 і 35,3 км/г;

– по маршрутах з використанням приміської дороги: максимальні для дослідницького автомобіля – 80 км/г, для потоку – 62,4 км/г; те ж, мінімальні – відповідно – 57,7 і 46,6 км/г.

Великий розкид вищенаведених значень може бути пояснено різними умовами руху. Мінімальні значення швидкостей характерні для маршрутів, коли велика частина маршруту проходять місцевою мережею автомобільних доріг, а менша – з використанням приміської дороги. Таким чином, можна зробити висновок: отримані дані доводять доцільність обрання маршрутів з використанням приміської дороги у зоні тяжіння до неї, що дає можливість раціонального використання мережі автомобільних доріг.

Дослідження закономірностей руху транспортних потоків кільцевою дорогою

Натурні спостереження проводилися на приміських доріг та Великої окружної дороги м. Києва поза впливом розв'язок їх з іншими дорогами. Метою експерименту є визначення характеристик, дані яких мають бути використанні при імітаційному моделюванні:

1) інтенсивність, склад, і швидкість руху, інтервали і розподіл транспортних засобів по смугах руху в одному напрямку;

2) швидкості руху для кожного з типів транспортних засобів.

Інтенсивність і склад руху визначалися за 15-хвилинними спостереженнями. При цьому фіксувалися смуга руху і тип транспортного засобу. Загальна інтенсивність руху не перевищувала 1500 авт/г. Швидкість руху тяжіє до максимальних значень в 110 – 120 км/г.

Щонайперше, потрібно охарактеризувати досліджувані ділянки доріг як такі, що відповідають руху транспортних потоків поза впливом розв'язок їх з іншими дорогами. Величина таких зон впливу має імовірнісний характер. Для вільних умов руху така зона може бути визначена через зниження швидкості руху. У щільних умовах швидкості руху будуть визначатися не тільки геометричними характеристиками розв'язок, але й взаємодією окремих транспортних засобів в транспортних потоках.

Отже, чим більше інтенсивність і розкид швидкостей руху через різноманітність його складу та збільшення кількості змін смуг руху, тим більше буде величина впливу їх розв'язок. Тому були обрані ділянки доріг віддалені від транспортних розв'язок (більше 7 км), горизонтальні у подовжньому профілі та прямі у плані.

Було виявлено, що розподіл транспортних засобів по смугах руху залежить від складу потоку, його інтенсивності та існуючої організації дорожнього руху. Спостереження були згруповані за складом транспортного потоку по 4 групах (за % легкових транспортних засобів в потоці): до 20, 20 – 40, 40 – 60, 60 – 80. Спостереження за інтенсивністю транспортного потоку згруповані також по 4 групах (авт/г): до 600, 600 – 900, 900 – 1200, 1200 – 1500. Мінімальне значення інтенсивності було вибрано від 500 авт/г. Тобто від рівня, коли друга смуга руху починає використовуватися регулярно [107]. Отримано наступні характеристики розподілу транспортних засобів по ширині проїзної частини (табл. 3).

Таблиця 3 – Розподіл транспортних засобів по смугах руху

Table 3 – Distribution of vehicles by traffic lanes

Частка легкових ТЗ в потоці, %	Інтенсивність руху, авт/г	Зайнятість смуг руху, %	
		перша смуга	друга смуга
1	2	3	4
0 – 20	до 600	77	23
	600 – 900	69	31
	900 – 1200	60	40
	1200 – 1500	58	42
20 – 40	до 600	70	30
	600 – 900	62	38
	900 – 1200	52	48
	1200 – 1500	46	54
40 – 60	до 600	65	35
	600 – 900	56	44
	900 – 1200	51	49
	1200 – 1500	45	55
60 – 80	до 600	57	43
	600 – 900	52	48
	900 – 1200	50	50
	1200 – 1500	43	57

У процесі вивчення швидкостей руху поза впливом розв'язок ставились наступні задачі:

1) установити відповідність фактичного розподілу швидкостей руху в цілому та по окремих її смугам нормальному закону розподілу імовірностей;

2) визначити характерні швидкості руху для різних типів транспортних засобів, що рухаються різними смугами руху;

3) визначити характерні швидкості руху для різних смуг дороги.

Одночасно з виміром швидкостей руху, безперервно фіксувалися інтенсивність і склад потоку по кожній смузі руху.

За невеликих значень інтенсивності руху найчастіше фіксуються швидкості руху в 70 – 100 км/г. При цьому є характерною наявність гребінки. Зі збільшенням інтенсивності руху крива розподілу стає одновершинною. Вплив складу транспортного потоку за високих значень інтенсивності руху відображається в положенні кривої. Характеристики розподілів подані в табл. 4.

Грунтуючись на наведених даних можна зробити висновок про те, що прийняття гіпотези про нормальний розподіл швидкостей руху можна вважати достовірним. Розходження мають випадковий характер. Характеристики отримані при спостереженні можуть бути використані при імітаційному моделюванні.

Іншою найважливішою характеристикою взаємодії транспортних засобів у потоці є розподіл часових інтервалів між автомобілями, що послідовно проходять через переріз дороги – так називане прибуття автомобілів до створу, яке при імітаційному моделюванні використовується для визначення часової послідовності запуску транспортних засобів на смугу.

Таблиця 4 – Статистичні характеристики швидкостей руху кільцевою дорогою поза впливом розв'язок

Table 4 – Statistical characteristics of traffic speeds on a ring road outside the influence of interchanges

Швидкість руху ТЗ	Середня швидкість руху, км/г	Дисперсія, км ² /г ²	Середньо-квадратичне відхилення, км/г	Критерій χ^2 *	Об'єм вибірки
легкових І смугою	59,7	68,16	8,26	6,33	150
легкових ІІ смугою	64,32	104,27	10,21	12,92	233
легкових ІІ смугою (>40%)	71,05	121,28	11,01	14,82	231
вантажних І смугою	54,76	55,38	7,44	18,86	262
вантажних ІІ смугою	59,14	66,23	8,14	6,71	170
автобусів І смугою	54,02	67,40	8,21	3,91	83
автобусів ІІ смугою	63,63	36,63	6,05	4,16	131
автопотягів І смугою	55,87	38,10	6,17	3,12	246
автопотягів ІІ смугою	59,22	52,51	7,25	5,89	132
У цілому І смугою	56,11	62,87	7,93	13,86	741
У цілому ІІ смугою	62,02	79,46	8,91	10,74	897

* χ^2 має бути не менше 19,68 тому, що число інтервалів $k=14$, закон двопараметричний ($S=2$), кількість зв'язків $r=k-S-1=14-2-1=11$ – за таблицею визначення χ^2 в залежності від r та p (імовірності згоди [119]) – підпорядкування швидкості нормальному закону не відкидається.

Установлено, що збільшення інтенсивності руху приводить до зменшення середнього часового інтервалу, при цьому імовірність появи інтервалів великої довжини зменшується.

Кожна смуга руху характеризується своїм розподілом часових інтервалів, що пояснюється зміною складу потоку по смугах руху. Мінімальний з інтервалів дорівнює 1 с. Частіше він спостерігається на другій смузі руху.

За допомогою спеціально розробленої на кафедрі «Транспортні системи та БДР» Національного транспортного університету програми «TIME» були оброблені часові інтервали в діапазоні інтенсивності руху від 250 до 1000 авт/г. Результати обробки зведено в табл. 5. Тут проведено порівняльний аналіз підпорядкування фактичного розподілу часових інтервалів теоретичним розподілам: логарифмічно нормальному, Релея та гама-розподілу.

Фактичні розподіли часових інтервалів найкраще підпорядковуються гама-розподілу, що відповідає раніше отриманим даним [24 – 26]. Гама-розподіл зручний у використанні при імітаційному моделюванні тому, що він може бути застосований в широкому діапазоні зміни інтенсивності руху.

При обробці статистичні дані були поділені на 24 інтервали (від 1 до 24 с з кроком в 1 с). Кількість ступенів свободи і зв'язків підраховувалися за вищенаведеними залежностями. Таким чином підпорядкування інтервалів руху транспортних засобів поза впливом розв'язок гама-розподілу не відкидається.

Ділянки під'їзду до розв'язок піддані безпосередньому впливу їх з'їздів, тому що інтенсивність руху на них та її розподіл по смугах руху залежить від потоків, що рухаються із своїми цілями, які, у свою чергу, залежать від розташування розв'язки по відношенню до конкретного регіону або до визначеного магістрального транзитного напрямку руху (ввідної автомобільної магістралі).

Під час натурних спостережень визначалися такі величини: інтенсивності наскрізного, в'їзного та виїжджаючого потоків, а також розподіл їх швидкостей і часових інтервалів; частка загального потоку, що рухається на з'їзд з дороги; розрахунок уповільнення автомобілів, що рухаються на з'їзд з дороги.

У зоні впливу з'їзду з дороги розподіл автомобілів по ширині проїзної частини має, у порівнянні з ділянкою поза зоною впливу розв'язки, специфічний характер. Тут він залежить від інтенсивності та складу руху, а також від цілей водіїв автомобілів: чим більше транспортних засобів рухаються на з'їзд з дороги і чим менше легкових автомобілів у загальному транспортному потоці, тим більше транспортних засобів намагаються зайняти першу смугу руху.

Під час спостережень було виявлено, що на різні з'їзди з дороги направляються 10 – 65% загального транспортного потоку.

Таблиця 5 – Порівняльний аналіз розподілу часових інтервалів
Table 5 – Comparative analysis of the distribution of time intervals

Інтенсивність руху, авт/г	Дисперсія, c^2	Математичне чекання	Гама-розподіл			Логнормальний розподіл			Розподіл Релея		Об'єм вибірки
			Параметр форми α	Параметр масштабу λ	Критерій χ^2	Параметр $\ln t_0$	Параметр $\sigma_{\ln t_0}$	Критерій χ^2	Параметр масштабу	Критерій χ^2	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
238	69,39	15,10	0,768	11,60	7,187	2,598	0,071	44,98	12,051	48,13	370
314	52,03	11,48	0,440	4,057	3,115	2,274	0,493	19,25	9,162	64,02	331
390	38,56	10,52	0,303	3,190	3,360	2,203	0,547	21,76	8,396	81,91	223
457	30,80	7,88	0,303	2,388	4,440	1,862	0,639	20,76	6,289	94,24	184
476	22,00	7,56	0,355	2,680	3,200	1,860	0,570	19,78	6,034	123,31	218
638	16,65	5,64	0,280	1,590	5,090	1,520	0,649	31,46	4,501	173,49	210
650	13,40	5,54	0,256	1,419	7,140	1,531	0,602	44,12	4,420	224,07	156
985	11,42	3,67	0,346	1,264	3,091	0,987	0,785	19,11	2,921	297,56	96

Іншою найважливішою характеристикою цієї ділянки є наявність і вид перехідно-швидкісних смуг та їх геометричних характеристик (кут входження, ширина, число смуг руху і т.д.). Спостереження за фактичними швидкостями окремих типів транспортних засобів і потоку в цілому зведені в табл. 6.

Таблиця 6 – Статистичні характеристики швидкостей руху в зоні впливу розв'язок
Table 6 – Statistical characteristics of traffic speeds in the zone of influence of junctions

Швидкість руху ТЗ	Середня швидкість руху, км/г	Дисперсія, $\text{км}^2/\text{г}^2$	Середнє квадратичне відхилення, км/г	Критерій χ^2 *	Об'єм вибірки
легкових – на правоповоротний з'їзд	42,12	51,39	7,17	1,105	512
вантажних – на правоповоротний з'їзд	46,09	51,39	7,17	1,105	512
автопотягів – на правоповоротний з'їзд	41,70	47,16	6,87	1,674	109
автобусів – на правоповоротний з'їзд	44,10	48,24	6,94	1,923	61
загальна – на правоповоротний з'їзд	43,16	45,80	6,76	1,821	917
легкових – на лівоповоротний з'їзд	43,12	57,23	7,56	1,559	323
вантажних – на лівоповоротний з'їзд	39,30	20,16	4,49	0,321	59
автопотягів – на лівоповоротний з'їзд	35,50	44,49	6,67	0,873	52
автобусів – на лівоповоротний з'їзд	37,61	33,99	5,83	1,128	41
загальна – на лівоповоротний з'їзд	42,15	52,63	7,25	1,956	475
наскрізного потоку – на правоповоротний з'їзд	52,94	40,83	6,39	5,513	343
наскрізного потоку – на лівоповоротний з'їзд	49,92	31,00	5,57	3,640	271

Через близькі значення швидкості руху окремих транспортних засобів для статистичної обробки був обраний інтервал у 3 км/г; при цьому число інтервалів дорівнює $k=12$. Тоді кількість зв'язків дорівнює:

$$r = k - S - 1 = 12 - 2 - 1 = 9.$$

Використовуючи значення критерію χ^2 і числа зв'язків за таблицею [27-28] знаходимо, що імовірність згоди знаходиться в межах 0,99 – 0,95, що вище прийнятого рівня у 5%.

Аналізуючи значення, наведені в табл. 6, потрібно звернути увагу на близькі значення середніх значень швидкостей руху для різних типів транспортних засобів між собою та до середньою швидкістю потоку, що направляється на з'їзд з дороги. Геометрія лівоповоротного з'їзду змушує транспортний потік рухатися по ньому з меншою швидкістю, ніж по правоповоротному з'їзду.

Отримані дані натурних спостережень не повністю задовольняють вимоги щодо вирішення завдань, установлених відповідно до мети дослідження. Тому виникає необхідність у додаткових роботах, під час яких інші характеристики руху транспортних потоків, необхідні для досягнення мети дослідження, можна отримати за допомогою імітаційного моделювання.

За допомогою експериментів отримані наступні закономірності руху транспортних потоків приміськими автомобільними дорогами:

– середньої швидкості транспортного потоку $\bar{V}$ від загальної інтенсивності руху (за умов різних часток руху легкових транспортних засобів, позначених індексами при значенні середньої швидкості транспортного потоку):

$$\bar{V}_{0,8} = 106,209 - 0,051 \cdot N; \quad (6)$$

$$\bar{V}_{0,6} = 99,945 - 0,047 \cdot N; \quad (7)$$

$$\bar{V}_{0,4} = 92,245 - 0,042 \cdot N; \quad (8)$$

$$\bar{V}_{0,2} = 88,15 - 0,0395 \cdot N; \quad (9)$$

– швидкості руху на першій смузі дороги V_1 і швидкості руху на другій смузі дороги V_2 від середньої швидкості руху транспортного потоку $\bar{V}$:

$$V_1 = 2,45 + 0,71 \cdot \bar{V}; \quad (10)$$

$$V_2 = 3,581 + 1,1 \cdot \bar{V}; \quad (11)$$

– швидкості руху транспортного потоку $\bar{V}$ від інтенсивності руху з урахуванням впливу транспортної розв'язки (при різних частках потоку, що рухаються на з'їзди транспортної розв'язки і позначених індексами при значенні середньої швидкості транспортного потоку):

$$\bar{V}_{0,2} = 106,024 - 0,069 \cdot N + 1,05 \cdot 10^{-5} \cdot N^2; \quad (12)$$

$$\bar{V}_{0,4} = 95,24 - 0,065 \cdot N + 1,04 \cdot 10^{-5} \cdot N^2; \quad (13)$$

$$\bar{V}_{0,6} = 88,045 - 0,063 \cdot N + 1,03 \cdot 10^{-5} \cdot N^2; \quad (14)$$

$$\bar{V}_{0,8} = 84,27 - 0,061 \cdot N + 1,01 \cdot 10^{-5} \cdot N^2; \quad (15)$$

– швидкості руху транспортного потоку $\bar{V}$ від інтенсивності руху з урахуванням впливу довжини ділянки автомобільної дороги поміж розв'язками (позначена індексами при значенні середньої швидкості транспортного потоку):

$$\bar{V}_{>25} = 106,209 - 0,051 \cdot N; \quad (16)$$

$$\bar{V}_{15-25} = 100,11 - 0,056 \cdot N; \quad (17)$$

$$\bar{V}_{10-15} = 98,19 - 0,058 \cdot N; \quad (18)$$

$$\bar{V}_{5-10} = 97,87 - 0,061 \cdot N; \quad (19)$$

$$\bar{V}_{<5} = 94,32 - 0,062 \cdot N; \quad (20)$$

– втрат часу U транспортного засобу від середньої швидкості руху за різних значень величини потрібної зони організації дорожнього руху (залежить від зони впливу розв'язки на рух транспортних потоків), що позначено індексами при U (у метрах):

$$U_{8000} = 77,62 - \frac{\bar{V}}{1,22}; \quad (21)$$

$$U_{6000} = 78,23 - \frac{\bar{V}}{1,18}; \quad (22)$$

$$U_{3000} = 79,76 - \frac{\bar{V}}{1,15}; \quad (23)$$

$$U_{1000} = 72,96 - \frac{\bar{V}}{1,37}; \quad (24)$$

– втрат часу U транспортного засобу від середньої швидкості руху за різних значень довжини перегону між послідовними розв'язками, що позначено індексами при U (у кілометрах):

$$U_{15-25} = 90,29 - \frac{\bar{V}}{0,8}; \quad (25)$$

$$U_{10-15} = 91,93 - \frac{\bar{V}}{0,81}; \quad (26)$$

$$U_{5-10} = 93,29 - \frac{\bar{V}}{0,82}; \quad (27)$$

$$U_{<5} = 62,96 - \frac{\bar{V}}{0,87}. \quad (28)$$

Висновки. Отже, виходячи з поставлених завдань дослідження та на підставі отриманих кореляційних залежностей, розроблені підходи щодо прийняття рішень по раціональній організації руху транспортних потоків, а також удосконаленню інженерно-планувальних рішень для поліпшення умов руху транспортних потоків автомобільними дорогами у приміських зонах міст України.

Ці підходи дозволяють оцінювати процес функціонування основних смуг руху автомобільних доріг у зоні впливу транспортної розв'язки, показнику ефективності функціонування транспортної системи, її надійності, стійкості та перешкодозахищеності як резерву раціональної інтенсивності руху транспортних потоків.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сливак И.М. Автомобильные дороги и транспортное обслуживание пригородных зон. Киев, Будивельник, 1974 г., 184 с.
2. Сигаев А.В. Грузовые магистрали города. – М., Стройиздат, 1962. 181 с.
3. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. М., Транспорт, 1977, 303 с.
4. Старовойда В.П. Вводные и кольцевые магистрали. Киев, Будивельник, 1980 г., 144 с.
5. Старовойда В.П. Исследование трасс и определение габаритных размеров автомобильных магистралей на подходах к городам. Автореферат ... канд. техн. наук, Киев, 1968 г., 23 с.
6. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. М., Транспорт, 1972, 424 с.
7. Хомяк А.В. Проектирование полос движения для скоростного движения на автомобильных магистралях – подъездах к крупным аэропортам. Автореферат...канд. техн. наук, МАДИ, 1983 г., 18 с.
8. Шевяков А.П. Организация движения на автомобильных магистралях. М., Транспорт, 1985, 96 с.
9. Бабков В.Ф. и др. Дорожные условия и организация движения. М. Транспорт, 1974, 240 с.
10. Красников А.Н. Скорости движения потоков автомобилей на автомагистралях с шестью полосами движения. М., Труды МАДИ, 1974, вып. 72, с. 71-75.
11. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков. Перевод с англ. М., Мир, 1966, 286 с.
12. Кисляков В.М., Филиппов В.В., Школяренко И.А. Математическое моделирование и оценка условий движения автомобилей и пешеходов. М., Транспорт, 1979, 200 с.
13. Сильянов В.В. Теоретические основы повышения пропускной способности автомобильных дорог. Дисс ... докт. техн. наук, М., МАДИ, 1978, 447 с.
14. Красников А.Н. Исследование закономерностей движения транспортных потоков на многополосных автомобильных магистралях. Дисс ... канд. техн. наук, М., МАДИ, 1976, 286 с.
15. Заворицкий В.И., Старовойда В.П., Белятинский А.А., Забышный А.С. Распределение интенсивности движения в течение суток. В сб.: Автомобильные дороги и дорожное строительство, К.: 1972, вып. 10, с. 19-30.
16. Красников А.Н. Закономерности движения на многополосных автомобильных дорогах. М., Транспорт, 1988, 111 с.
17. Шевяков А.П. Влияние транспортных развязок в разных уровнях на режимы движения автомобилей. Дисс ... канд. техн. наук, М., МАДИ, 1968, 196 с.

18. Шевяков А.П. Использование полос движения на автомагистралях. М., Труды Госдорпроектинститута, 1976, № 19, с. 6-21.
19. Белятинский А.А. К вопросу ограничения скоростей на автомагистралях. В сб.: Автомобильные дороги и дорожное строительство, К.: 1976, вып. 18.
20. Богаченко В.Н. Усовершенствование методов организации движения автомобилей на развязках автомобильных дорог. Дисс ... канд. техн. наук, К., КАДИ, 1988, 243 с.
21. Полищук В.П. Исследование движения транспортных потоков на развязках автомобильных дорог. Дисс. ... канд. техн. наук. Киев, КАДИ, 1968.
22. Пальчик А.Н. Усовершенствование методов оценки условий движения на основе учета состава транспортного потока. Дисс. ... канд. техн. наук. Киев, КАДИ, 1987, 174 с.
23. Сильянов В.В., Ситников Ю.М., Сапегин Л.Н. Расчеты скоростей движения на автомобильных дорогах. М., МАДИ, 1978, 114 с.
24. РТМ 44-62. Методика статистической обработки экспериментальных данных. М., Комитет стандартов. 1966, 100 с.
25. Гранков В.П. Выборочное наблюдение. М., Госиздат, 1963, 153 с.
26. Кильдишев Г.С., Овсиенко В.Е., Рабинович М.П. Общая теория статистики. М., Статистика, 1980, 423 с.
27. Химмельбау Д. Анализ процессов статистическими методами. М. Мир. 957 с.
28. Леонтьев Н.Л. Техника статистических вычислений. М., Лесная промышленность, 1966, 250 с.

REFERENCES

1. Slivak I.M. Avtomobilnie dorogi i transportnoe obsluzhivanie prigorodnikh zon. Kiev, Budivelnik, 1974 g., 184 s.
2. Sigaev A.V. Gruzovie magistrali goroda. – М., Stroizdat, 1962. 181 s.
3. Silyanov V.V. Teoriya transportnikh potokov v proektirovanii dorog i organizatsii dvizheniya. М., Transport, 1977, 303 s.
4. Starovoida V.P. Vvodnie i koltsevie magistrali. Kiev, Budivelnik, 1980 g., 144 s.
5. Starovoida V.P. Issledovanie trass i opredelenie gabaritnikh razmerov avtomobilnikh magistrali na podkhodakh k gorodam. Avtoreferat ... kand. tekhn. nauk, Kiev, 1968 g., 23 s.
6. Dryu D. Teoriya transportnikh potokov i upravlenie imi. М., Transport, 1972, 424 s.
7. Khomyak A.V. Proektirovanie polos dvizheniya dlya skorostnogo dvizheniya na avtomobilnikh magistralyakh – podezdakh k krupnim aeroportam. Avtoreferat...kand. tekhn. nauk, MADI, 1983 g., 18 s.
8. Shevyakov A.P. Organizatsiya dvizheniya na avtomobilnikh magistralyakh. М., Transport, 1985, 96 s.
9. Babkov V.F. i dr. Dorozhnie usloviya i organizatsiya dvizheniya. М. Transport, 1974, 240 s.
10. Krasnikov A.N. Skorosti dvizheniya potokov avtomobiley na avtomagistralyakh s shestyuu polosami dvizheniya. М., Trudi MADI, 1974, vip. 72, s. 71-75.
11. Kheit F. Matematicheskaya teoriya transportnikh potokov. Perevod s angl. М., Mir, 1966, 286 s.
12. Kislyakov V.M., Filippov V.V., Shkolyarenko I.A. Matematicheskoe modelirovanie i otsenka uslovii dvizheniya avtomobiley i peshekhodov. М., Transport, 1979, 200 s.
13. Silyanov V.V. Teoreticheskie osnovi povisheniya propusknnoi sposobnosti avtomobilnikh dorog. Diss ... dokt. tekhn. nauk, М., MADI, 1978, 447 s.
14. Krasnikov A.N. Issledovanie zakonornostei dvizheniya transportnikh potokov na mnogopolosnikh avtomobilnikh magistralyakh. Diss ... kand. tekhn. nauk, М., MADI, 1976, 286 s.
15. Zavoritskii V.I., Starovoida V.P., Belyatinskii A.A., Zabishnii A.S. Raspredelenie intensivnosti dvizheniya v techenie sutok. V sb.: Avtomobilnie dorogi i dorozhnoe stroitelstvo, К.: 1972, vip. 10, s. 19-30.
16. Krasnikov A.N. Zakonornosti dvizheniya na mnogopolosnikh avtomobilnikh dorogakh. М., Transport, 1988, 111 s.
17. Shevyakov A.P. Vliyanie transportnikh razvyazok v raznikh urovnyakh na rezhimi dvizheniya avtomobiley. Diss ... kand. tekhn. nauk, М., MADI, 1968, 196 s.
18. Shevyakov A.P. Ispolzovanie polos dvizheniya na avtomagistralyakh. М., Trudi GosdorproektiziskNII, 1976, № 19, s. 6-21.
19. Belyatinskii A.A. K voprosu ogranicheniya skorostei na avtomagistralyakh. V sb.: Avtomobilnie dorogi i dorozhnoe stroitelstvo, К.: 1976, vip. 18.
20. Bogachenko V.N. Usovershenstvovanie metodov organizatsii dvizheniya avtomobiley na razvyazkakh avtomobilnikh dorog. Diss ... kand. tekhn. nauk, К., KADI, 1988, 243 s.
21. Polishchuk V.P. Issledovanie dvizheniya transportnikh potokov na razvyazkakh avtomobilnikh dorog. Diss. ... kand. tekhn. nauk. Kiev, KADI, 1968.

22. Palchik A.N. Usovershenstvovanie metodov otsenki uslovii dvizheniya na osnove ucheta sostava transportnogo potoka. Diss. ... kand. tekhn. nauk. Kiev, KADI, 1987, 174 s.
23. Silyanov V.V., Sitnikov Yu.M., Sapegin L.N. Rascheti skorostei dvizheniya na avtomobilnikh dorogakh. M., MADI, 1978, 114 s.
24. RTM 44-62. Metodika statisticheskoi obrabotki eksperimentalnikh dannyakh. M., Komitet standartov. 1966, 100 s.
25. Grankov V.P. Viborochnoe nablyudenie. M., Gosizdat, 1963, 153 s.
26. Kildishev G.S., Ovsienko V.E., Rabinovich M.P. Obshchaya teoriya statistiki. M., Statistika, 1980, 423 s.
27. Khimmelbau D. Analiz protsessov statisticheskimi metodami. M. Mir. 957 s.
28. Leontev N.L. Tekhnika statisticheskikh vychislenii. M., Lesnaya promishlennost, 1966, 250 s.

РЕФЕРАТ

Лановий О.Т. Експериментальні дослідження характеристик транспортних потоків на автомобільних дорогах приміських зон міст України / О.Т.Лановий, В.Б.Кисельов, О.М. Кошарний, Т.М. Ліплява // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

Складність спільного руху місцевих та транзитних транспортних потоків приміськими дорогами, а також можливість руху окремих транспортних засобів рухатися різними маршрутами для досягнення своєї мети поїздки, вимагає розгляду декількох окремих задач. Для рішення кожної з них необхідним є самостійний підхід, а також розробка окремих методик експериментальних досліджень.

Ефективність устрою зручних високошвидкісних вхідних і кільцевих доріг у приміських зонах багато в чому визначається зменшенням часу і підвищенням зручності руху, що, у свою чергу, залежить від розташування дороги для можливого маршруту поїздки з використанням місцевої мережі автомобільних доріг і ступеня задоволення вимог транспортних потоків у частині організації їх руху автомобільними дорогами приміських зон міст України.

Разом з тим, для повної характеристики вибору водіями маршрутів руху з використанням автомобільних доріг, розташованих у приміських зонах міст України, та перевірки раніше висловлених припущень, уявляється доцільним розширити рамки експерименту.

Метою статті є публікація отриманих характеристик транспортних потоків на автомобільних дорогах приміських зон міст України.

Виходячи з поставлених завдань дослідження та на підставі отриманих кореляційних залежностей, розроблені підходи щодо прийняття рішень по раціональній організації руху транспортних потоків, а також удосконаленню інженерно-планувальних рішень для поліпшення умов руху транспортних потоків автомобільними дорогами у приміських зонах міст України.

Ці підходи дозволяють оцінювати процес функціонування основних смуг руху автомобільних доріг у зоні впливу транспортної розв'язки, показники ефективності функціонування транспортної системи, її надійності, стійкості та перешкодозахищеності як резерву раціональної інтенсивності руху транспортних потоків.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ ПРИМІСЬКИХ ЗОН МІСТ УКРАЇНИ, ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ ПРИМІСЬКИХ ЗОН МІСТ УКРАЇНИ, ВХІДНІ І КІЛЬЦЕВІ ДОРОГИ У ПРИМІСЬКИХ ЗОНАХ МІСТ УКРАЇНИ, ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПО РАЦІОНАЛЬНІЙ ОРГАНІЗАЦІЇ РУХУ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ.

ABSTRACT

Lanovy O.T., Kiselov V.B., Kosharny O.M., Liplyava T.M. Experimental studies of the characteristics of traffic flows on the highways of the suburban areas of Ukrainian cities. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

The complexity of the joint movement of local and transit traffic flows on suburban roads, as well as the possibility of the movement of individual vehicles to move along different routes to achieve the purpose of the trip, requires the consideration of several separate tasks. To solve each of them, an independent approach is necessary, as well as the development of separate methods of experimental research.

The effectiveness of the arrangement of convenient high-speed entrance and ring roads in suburban areas is largely determined by reducing time and increasing the convenience of movement, which, in turn, depends on the location of the road for a possible trip route using the local highway network and the degree

of satisfaction of the requirements of traffic flows in terms of organization of their traffic on the highways of suburban areas of Ukrainian cities.

At the same time, in order to fully characterize the choice of driving routes by drivers using highways located in the suburban areas of Ukrainian cities, and to verify the previously expressed assumptions, it seems appropriate to expand the scope of the experiment.

The purpose of the article is to publish the obtained characteristics of traffic flows on the highways of the suburban zones of the cities of Ukraine.

Based on the research objectives and on the basis of the obtained correlational dependencies, approaches have been developed for decision-making on the rational organization of traffic flows, as well as the improvement of engineering and planning solutions to improve the conditions of traffic flows on highways in the suburban areas of Ukrainian cities.

These approaches make it possible to evaluate the process of functioning of the main traffic lanes of highways in the zone of influence of the transport interchange, indicators of the efficiency of the functioning of the transport system, its reliability, stability and interference protection as a reserve for the rational intensity of traffic flows.

KEYWORDS: HIGHWAYS OF SUBURBAN AREAS OF CITIES OF UKRAINE, CHARACTERISTICS OF TRANSPORT FLOWS ON THE HIGHWAYS OF SUBURBAN AREAS OF CITIES OF UKRAINE, ENTRANCE AND ANNULAR ROADS IN SUBURBAN AREAS OF CITIES OF UKRAINE, DECISION MAKING ON RATIONAL ORGANIZATION OF TRAFFIC FLOW.

АВТОРИ:

Лановий Олександр Тимофійович, доктор технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, Київ, Україна, al.lanovoy@gmail.com, +38(063)932-03-41, <https://orcid.org/0000-0002-0717-9870>

Кисельов Володимир Борисович, доктор технічних наук, професор, Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського, професор кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики, Київ, Україна, kvbglush1953@gmail.co, тел. +380674657845, <https://orcid.org/0000-0003-3437-2825>

Кошарний Олександр Миколайович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, o.kosharnyi@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5969-4858>

Ліплява Тетяна Михайлівна, студентка, Національний транспортний університет, Київ, Україна, tanyaliplava.99@gmail.com, +38(063)165-58-95, <https://orcid.org/0009-0002-5103-4932>

AUTHORS:

Lanovyi Oleksandr Tymofiiiovych, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: al.lanovoy@gmail.com, tel. +380639320341, <https://orcid.org/0000-0002-0717-9870>

Kiselyov Volodymyr Borysovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, Tavriya National University named after VI Vernadsky, Kyiv, Ukraine, e-mail: al.lanovoy@gmail.com, tel. +380674657845, <https://orcid.org/0000-0003-3437-2825>

Kosharnyi Oleksandr Mykolayovych, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: o.kosharnyi@gmail.com, tel. +380673771861, <https://orcid.org/0000-0002-5969-4858>

Liplyava Tetyana Mykhailivna, student, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: tanyaliplava.99@gmail.com, +38(063)165-58-95, <https://orcid.org/0009-0002-5103-4932>

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Домніч В.І. кандидат технічних наук, професор, Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського, професор кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики, Київ, Україна

Прокудін Г.С. доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Domnich V.I. candidate of technical sciences, professor, Tavria National University named after V.I. Vernadskyi, professor of the department of general engineering disciplines and thermal power engineering, Kyiv, Ukraine

Prokudin G.S. Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of the Department of International Transport and Customs Control, Kyiv, Ukraine.