

© Є. Ю. Форнальчик, докт. техн. наук,  
професор,  
ORCID: 0000-0003-4137-0625,  
e-mail: yevhen.y.fornalchuk@lpnu.ua;  
© В. В. Гілевич, канд. техн. наук, доцент,  
ORCID: 0000-0001-8873-7522,  
e-mail: volodymyr.v.hilevych@lpnu.ua;  
© В. В. Суслов, аспірант,  
ORCID: 0009-0002-7599-8146,  
e-mail: vladyslav.v.suslov@lpnu.ua;  
© А. І. Вельган, студент,  
ORCID: 0000-0002-0052-5048,  
e-mail: andrii.velhan.mnrmt.2023@lpnu.ua;  
© А. П. Близнюк, студент,  
ORCID: 0009-0001-8603-2374,  
e-mail: artem.blyzniuk.mnrmt.2023@lpnu.ua;  
(Кафедра транспортних технологій  
Національного університету  
«Львівська політехніка»)

© Yevhen Fornalchuk, Doctor of Engineering  
Sciences, Professor,  
ORCID: 0000-0003-4137-0625,  
e-mail: yevhen.y.fornalchuk@lpnu.ua;  
© Volodymyr Hilevych, PhD,  
Associate Professor,  
ORCID: 0000-0001-8873-7522,  
e-mail: volodymyr.v.hilevych@lpnu.ua;  
© Vladyslav Suslov, Postgraduate,  
ORCID: 0009-0002-7599-8146,  
e-mail: vladyslav.v.suslov@lpnu.ua;  
© Andrii Velhan, Student,  
ORCID: 0000-0002-0052-5048,  
e-mail: andrii.velhan.mnrmt.2023@lpnu.ua;  
© Artem Blyzniuk, Student,  
ORCID: 0009-0001-8603-2374,  
e-mail: artem.blyzniuk.mnrmt.2023@lpnu.ua;  
(Department of Transport Technologies,  
Lviv Polytechnic National University)

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ПЕРЕСУВАНЬ ПАСАЖИРІВ В ІНДИВІДУАЛЬНИХ АВТОМОБІЛЯХ ТА В АВТОБУСАХ, ЩО НА ВИДІЛЕНИХ СМУГАХ

### EFFECTIVENESS OF PASSENGERS' MOVEMENT IN PERSONAL CARS AND BUSES MOVING IN DEDICATED LANES

**Анотація.** На підставі аналізу публікацій з особливостями руху транспортних засобів по вулично-дорожній мережі міст із виділеними смугами для громадського транспорту (автобусів) встановлено їхню ефективність. Її оцінюють за величиною скорочення тривалості добування пасажирів до пунктів призначення. Однак, якщо йдеться про виділені смуги за рахунок зменшення їхньої кількості для руху інших транспортних засобів (легкові та вантажні), потрібно зважати на збільшення тривалості добування учасників руху в цих засобах. Відповідні спостереження проводили в ранковий та вечірній піковий час упродовж трьох найбільш напружених робочих днів тижня (понеділок, середа, п'ятниця) з фіксацією показників, якими можна оцінити транспортні потоки на ділянках міської мережі без і з виділеними смугами (кількість автобусів на виділених смугах, швидкість їхнього руху, тривалість проїзду; те саме для всіх учасників руху, що не мають виділених смуг). Ділянки вибрані так, що друга була продовженням першої без розривів між ними. Результатом дослідження було встановлення часової та вартісної ефективності пересування пасажирів в автобусах у виділеній смузі і такої ж неефективності пересування пасажирів у легкових автомобілях, що рухалися по залишковій, скороченій на одну, кількості смуг. Вартість часу останніх перевищувала в середньому у 52,61 рази такі ж вартості для пасажирів, що пересувалися на виділених автобусних смугах. Оцінено, що це збільшення коштує для одного пасажирів легкового автомобіля 0,117 грн/пас., порівняно з автобусним пасажиром 0,096 грн/пас. У подальших дослідженнях із розширенням географії щодо впровадження виділених автобусних смуг проєктантам потрібно приймати відповідні компромісні рішення, зважаючи на всіх учасників руху, не тільки автобуси.

**Ключові слова:** ділянка вулично-дорожньої мережі міста, смуга руху, виділена смуга, транспортний потік, інтенсивність, швидкість, автобус, легковий автомобіль, тривалість, ефективність.

**Abstract.** The effectiveness of dedicated lanes for public transport (buses) is determined based on the analysis of publications on the peculiarities of vehicle traffic on the road networks with these lanes. The effectiveness is measured by the amount of reduction in the time it takes passengers to reach their destinations. However, if we are talking about dedicated lanes by reducing their number for other vehicles (cars and trucks), we need to consider the increased travel time for road users in these vehicles. Relevant observations were made in the morning and evening rush hours during the three busiest working days of the week (Monday, Wednesday, Friday), having recorded indicators that can be used to assess traffic flows on sections of the urban road network without and with dedicated lanes (number of buses in dedicated lanes, their speed, travel time; the same for all road users without dedicated lanes). The sections were chosen so that the second one was a continuation of the first one without gaps between them. The result of the study was the establishment of the time and cost efficiency of passenger trans-

*portation in buses on a dedicated lane and the same inefficiency of passenger transportation in cars moving on the residual reduced number of lanes. The time costs by the latter were in average 52.61 times less that of passengers traveling in dedicated bus lanes. It is estimated that this increase costs UAH 0.117 per car passenger, compared to UAH 0.096 per bus passenger. In further studies with expanded geography on the implementation of dedicated bus lanes, designers need to make compromise decisions, taking into account all traffic participants, not just buses.*

**Keywords:** section of urban road network, lane, dedicated lane, traffic flow, volume, speed, bus, car, duration, effectiveness.

## Вступ

Дослідження Федерального управління доріг США показали, що перевантаженість ділянок вулично-дорожньої мережі (ВДМ), які зумовлюють затримки, – це результат семи основних причин [1]:

1) низька пропускна спроможність ділянки ВДМ, яка визначається найменшою пропускною спроможністю одного з її елементів (міст, шляхопровід, крива в плані, ділянка уповільнення швидкості руху, зона злиття потоків, регульоване перехрестя тощо);

2) дорожньо-транспортні пригоди;

3) проведення будівельно-ремонтних робіт на ділянках ВДМ, що може призвести до скорочення числа або ширини смуг руху, зміщення дороги, об'їзду ділянки проведення ремонтних робіт, скорочення або ліквідації узбіччя і навіть тимчасового закриття автомобільної дороги;

4) несприятливі погодні умови, що мають істотний вплив на стан доріг;

5) пристрої керування дорожнім рухом, що призводять до періодичного порушення стану транспортного потоку (ТП), такі як залізничні переїзди та погано розраховані сигнали світлофорних об'єктів;

6) спеціальні заходи організації дорожнього руху, що обумовлюють особливі випадки коливань транспортного потоку;

7) нерівномірності у транспортному потоці, тобто постійна мінливість транспортної потреби, що призводить до того, що упродовж пікових інтервалів часу (ранковий, вечірній) формується транспортний потік із збільшеною інтенсивністю.

Розвантаження транспортних потоків, як показує закордонний досвід, частково можливе вилученням громадського транспорту (автобусів) із перевантаженого потоку й переведенням його на спеціальні виділені смуги. Про виділення смуг (ВСМ) на проїжджій частині для руху громадського транспорту (ГТ) опубліковано за останні 15 років надзвичайно багато праць [2-3], зокрема дисертації [4-5]. Є посилання на закордонний

досвід і відповідні публікації [6].

Це засвідчує актуальність проблеми, особливо для великих міст. У проаналізованих наукових публікаціях переконливо стверджується про ефективність / доцільність ВСМ для ГТ (автобуси, тролейбуси). Ефективність полягає у скороченні тривалості проїзду прогонів вулиць та перехресть. А це економія часу та коштів пасажирів порівняно з тим, якщо б вони пересувалися в загальному потоці разом з іншими транспортними засобами (легкові та вантажні автомобілі). Обґрунтовано [7], що виділення смуг для громадського транспорту ефективно за умови трисмугових ділянок ВДМ. Крім цього, автобуси на спеціальних смугах дають змогу розвантажити суміжні смуги, що зумовлює зменшення тривалості проїзду інших учасників руху [8-9]. В окремих випадках, за відповідної інтенсивності ТП, такі смуги можна виділяти. Однак потрібно з'ясувати рівень цієї ефективності: наскільки пасажирів у громадському транспорті у виграші і наскільки пасажирів в індивідуальному транспорті – у програші.

## Основна частина

Важливим у цьому є встановлення співвідношень між скороченням тривалостей для виділених смуг і тривалостей для інших учасників руху, які одночасно проїжджають прогони між перехрестями. В окремих публікаціях [10-11] порівняні лише тривалості проїзду регульованих перехресть із жорстким регулюванням «загального» потоку різної структури та з виділеною смугою без урахування цих співвідношень. Однак отримані результати не враховують втрат у тривалості руху інших учасників (легкові та вантажні автомобілі), які також зацікавлені у зменшенні тривалості добирання до місць праці, навчання тощо. Тобто як для перших (пасажирів в салоні автобусів), так і для других (водії та пасажирів легкових автомобілів) актуальні одні й ті ж вимоги – мінімізація тривалості поїздок. Оскільки кількість вантажних автомобілів у ТП не перевищує 0,5%,

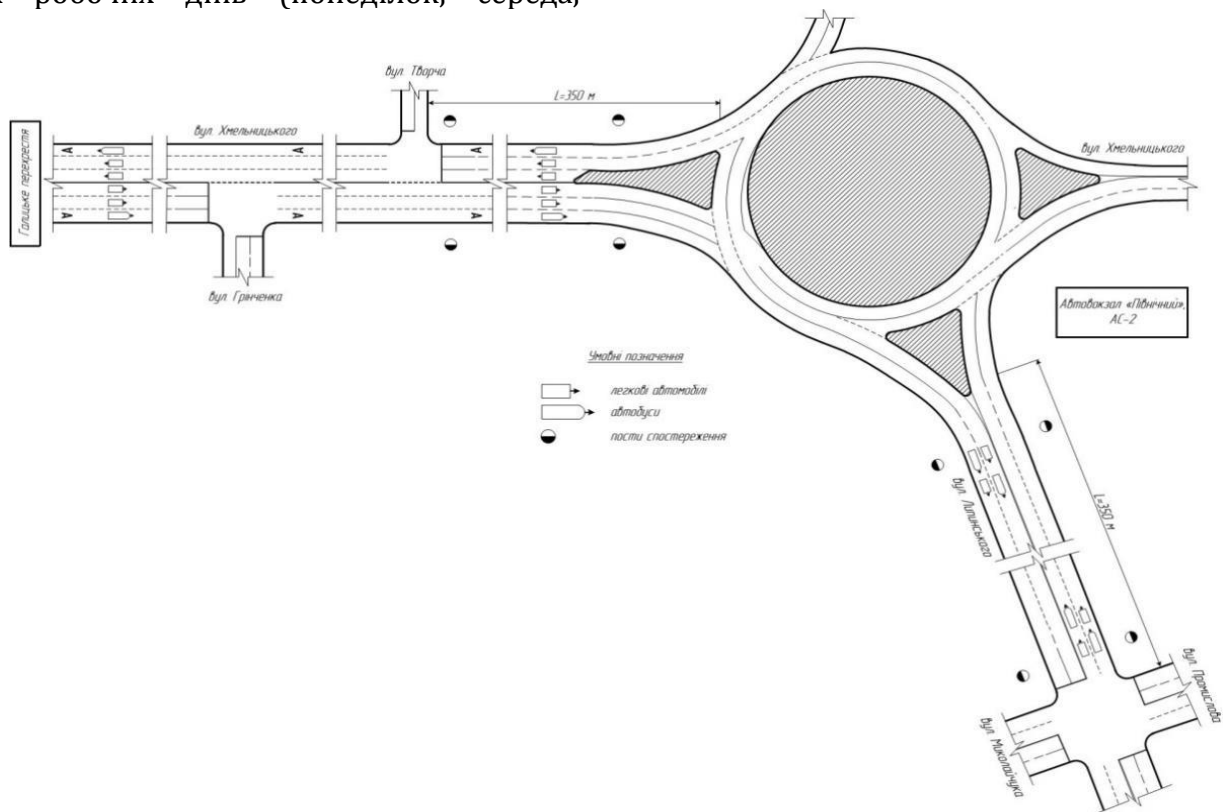
в цьому дослідженні щодо тривалості руху їх не враховувались.

Чи можна віднайти «компроміс» між тривалостями проїзду ділянок ВДМ одночасно автобусів на виділених смугах та легкових автомобілів на інших суміжних смугах? Очевидно, що в салоні автобуса більше пасажирів, ніж в автомобілі. Однак у цій ситуації потрібно, крім часових показників, порівнювати і кількість автобусів та пасажирів у них, що на виділеній смузі, які проїжджають прогони між перехрестями, й одночасно легкових автомобілів.

З метою оцінки ефективності виділених смуг для пасажирів автобусів виконувались експериментальні дослідження на ВДМ м. Львова на предмет визначення тривалостей проїзду окремо автобусів на виділеній смузі та автомобілів без автобусів у суміжних потоках (друга та третя смуги). Крім того, враховувались середня наповненість салонів автобусів і легкових автомобілів, які проїжджають прогони в загальному ТП та в потоках із виділеною автобусною смугою і з легковими автомобілями на другій та третій смузі.

Дослідження проводили впродовж трьох робочих днів (понеділок, середа,

п'ятниця з 15.04.2024 по 27.04.2024 р.) у ранковий та вечірній піковий час (8:50-9:10 та 17:40 – 18:00 год) на вул. Хмельницького на ділянці довжиною 350 м від АС-2 («Епіцентр») до Галицького перехрестя. У ній є три смуги руху, з яких відведено по одній виділеній для руху автобусів смузі в обох напрямках (від центру та до центру). Збирали такі дані: кількість автобусів та тривалість їхнього проїзду на виділених смугах; кількість легкових автомобілів та тривалість їхнього проїзду на двох смугах без автобусів на довжині 350 м (до перехрестя з вул. Творчою в напрямку «від центру» та з вул. Грінченка «до центру»). Для знаходження таких показників для змішаного ТП проводили окремі дослідження в той самий піковий час на ділянці з двосмуговим рухом вул. Липинського, від перехрестя з вул. Промисловою до АС-2 (350 м) «від центру», яка є початковою до попередньої (вул. Хмельницького) з виділеними смугами, та від АС-2 до вул. Миколайчука «до центру». Схема ВДМ, на якій проводилися дослідження, наведена на **рис. 1**. Опосередковані результати дослідження, на прикладі, руху ТП «від центра» зведені у **табл. 1**.



**Рис. 1.** Схема ВДМ із досліджуваними ділянками прогонів між перехрестями

**Опосередковані результати досліджень транспортних потоків на ВДМ із виділеними смугами для руху громадського транспорту (автобусів) та без них**

Показники	вул. Липинського, 2х2 смуги руху			вул. Хмельницького, 3х3 смуги руху		
	від центру до АС-2			від АС-2 до Галицького перехрес- тя		
	понеділок	середа	п'ятниця	понеділок	середа	п'ятниця
Час досліджень, год	<u>8:50-9:10</u> 17:40- 18:00	<u>8:50-9:10</u> 17:40- 18:00	<u>8:50-9:10</u> 17:40- 18:00	<u>8:50-9:10</u> 17:40- 18:00	<u>8:50-9:10</u> 17:40- 18:00	<u>8:50-9:10</u> 17:40- 18:00
Кількість автобусів на смугах упродовж 20 хв, $N$ , од.	<u>20</u> 16	<u>19</u> 20	<u>17</u> 18	-	-	-
на ВСМ	-	-	-	<u>27</u> 21	<u>23</u> 18	<u>26</u> 27
Наповненість салонів автобусів пасажирами, %, $n_a$	<u>74</u> 92	<u>69</u> 93	<u>80</u> 95	<u>67</u> 90	<u>63</u> 89	<u>68</u> 93
Загальна інтенсивність ТП, $I$ , авт./20 хв	<u>297</u> 195	<u>276</u> 234	<u>239</u> 264	<u>379</u> 435	<u>316</u> 464	<u>410</u> 481
Інтенсивність руху автобусів на смугах, $I_a$ , автоб./20 хв	<u>12</u> 09	<u>12</u> 09	<u>13</u> 09	-	-	-
на ВСМ, $I_a$ , автоб./20 хв	-	-	-	<u>27</u> 21	<u>23</u> 18	<u>26</u> 27
Тривалість руху (хв) автобусів на смугах	<u>1,10</u> 1,02	<u>1,17</u> 1,05	<u>0,92</u> 1,10	-	-	-
на ВСМ	-	-	-	<u>0,837</u> 0,691	<u>0,877</u> 0,559	<u>0,920</u> 0,722
Швидкість руху автобусів на смугах, $V$ , м/хв	<u>318,72</u> 344,62	<u>300,46</u> 332,00	<u>378,98</u> 317,06	-	-	-
на ВСМ, $V$ , м/хв	-	-	-	<u>418,00</u> 506,34	<u>399,30</u> 526,55	<u>380,43</u> 484,80
Швидкість руху легкових, $V_l$ , м/хв	<u>318,72</u> 344,62	<u>300,46</u> 332,00	<u>378,98</u> 317,06	-	-	-
без ВСМ, $V_l$ , м/хв	-	-	-	<u>529,22</u> 666,66	<u>438,04</u> 572,98	<u>488,14</u> 544,42
Тривалість руху легкових автомобілів, $t_p$ , хв	<u>1,10</u> 1,02	<u>1,17</u> 1,05	<u>0,92</u> 1,10	-	-	-
без ВСМ (2-га та 3-тя смуги), $t_p$ , хв	-	-	-	<u>0,660</u> 0,525	<u>0,799</u> 0,611	<u>0,717</u> 0,643
Середня швидкість легкових автомобілів, $\bar{V}$ , км/год		<u>19,96</u> 19,87			<u>30,50</u> 35,68	

Маючи такі дані, знаходили: а) різницю у тривалостях руху автобусів у загальному змішаному потоці на вул. Липинського та на виділеній смузі вул. Хмельницького; б) їхню кількість у цих потоках; в) різницю у тривалостях руху легкових автомобілів у загальному потоці та в потоці, у якому відсутні автобуси (друга та третя смуги вул. Хмельницького); г) їхню кількість у цих потоках; д) швидкості руху автобусів та легкових автомобілів у відповідних потоках. Отримані результати порівнянь наведених даних дають змогу об'єктивно оцінити «економію» часу пересування пасажирів в автобусах на виділених смугах та «перевитрати» часу руху легкових автомобілів.

Отже, наприклад, різниця у середніх тривалостях руху автобусів за трьома робочими днями у загальному ТП (вул. Липинського, ранковий час пік  $\bar{t}_{pz} = 1,06$  хв, вечірній  $\bar{t}_{pe} = 1,07$  хв) та на виділеній смузі на вул. Хмельницького (зранку  $\bar{t}'_{pz} = 0,878$  хв, ввечері –  $\bar{t}'_{pe} = 0,657$  хв) у напрямку від центру становить

відповідно:

$$\Delta t_{pz} = \bar{t}_{pz} - \bar{t}'_{pz} = 1,06 - 0,878 = 0,182 \text{ хв,}$$

$\Delta t_{pe} = \bar{t}_{pe} - \bar{t}'_{pe} = 1,07 - 0,657 = 0,403$  хв; різниця їхньої кількості на цих потоках  $N_3 = 18,6$  од. зранку та  $N_6 = 18$  од. увечері (за рахунок повороту праворуч біля АС-2 відповідно 6,7 од. та 4 од.).

Тривалості руху легкових автомобілів у спільному потоці такі ж, як і автобусів у ньому (вул. Липинського, зранку  $\bar{t}_{pz} = 1,06$  хв, увечері  $\bar{t}_{pe} = 1,07$  хв) та у потоці, у якому відсутні автобуси на вул. Хмельницького (2-га та 3-тя смуги), – зранку  $\bar{t}''_{pz} = 0,725$  хв, ввечері  $\bar{t}''_{pe} = 0,593$  хв у напрямку «від центру» різниці між ними становлять відповідно

$$\text{зранку } \Delta t'_{pz} = \bar{t}_{pz} - \bar{t}''_{pz} = 1,06 - 0,725 = 0,335 \text{ хв}$$

$$\text{увечері } \Delta t'_{pe} = \bar{t}_{pe} - \bar{t}''_{pe} = 1,07 - 0,593 = 0,477 \text{ хв.}$$

Оскільки швидкості руху легкових автомобілів та автобусів у змішаному потоці (вул. Липинського) однакові, надалі порівнювали швидкості на прикладі руху легко-

вих автомобілів. Середні значення швидкостей становили на вул. Хмельницького зранку  $V_{31} = 30,5$ , увечері  $V_{61} = 35,68$  км/год, на вул. Липинського відповідно  $V_{32} = 19,96$  та  $V_{62} = 19,87$  км/год; різниця швидкостей на цих вулицях зранку і ввечері відповідно  $\Delta V_3 = 10,54$  і  $\Delta V_6 = 15,81$  км/год. Тобто швидкість легкових автомобілів на вулиці з виділеною смугою для автобусів більша зранку у  $V_{31} = 30,5 / 19,96 = 1,53$  разів, увечері в  $V_{61} = 35,68 / 19,87 = 1,8$  разів.

На підставі отриманих результатів можна розрахувати часові показники, які припадають на одного пасажирів, що рухався в автобусі по виділеній смузі (вул. Хмельницького), порівняно з тим, якщо б він рухався в загальному потоці (вул. Липинського). На обох вулицях рухалися в середньому на маршрутах у ранкові та вечірні часи пік – великі 4 автобуси пасажиромісткістю 80 осіб та 10 малих на 35 осіб. З урахуванням середньої наповненості салонів автобусів на виділеній смузі – 78% пасажирів перебувало в салонах  $\bar{n}_{ax} = 90$  осіб, а у загальному потоці на вул. Липинського наповненість становила 84%, там проїжджали  $\bar{n}_{al} = 97$  пасажирів. Зважаючи на це, витрати часу на проїзд цих ділянок вулиць, які припадали на одного пасажирів, становили:

– на вул. Хмельницького зранку –  $\bar{t}_{31} = \bar{t}'_{pz} / \bar{n}_{ax} = 0,878 / 90 = 0,010$  хв/пас.;

увечері –  $\bar{t}_{61} = \bar{t}'_{pe} / \bar{n}_{ax} = 0,657 / 90 = 0,007$  хв/пас;

– на вул. Липинського зранку –  $\bar{t}_{32} = \bar{t}_{pz} / \bar{n}_{al} = 1,06 / 97 = 0,011$  хв/пас.; увечері –  $\bar{t}_{62} = \bar{t}_{pe} / \bar{n}_{al} = 1,07 / 97 = 0,011$  хв/пас.

Витрати часу пасажирів в автобусах у спільному потоці та на виділеній смузі різні: на вул. Липинського вони більші в 1,10 рази зранку ( $T_3 = \bar{t}_{32} / \bar{t}_{31}$ ) і у 1,57 разів – увечері ( $T_6 = \bar{t}_{62} / \bar{t}_{61}$ ) порівняно з рухом на виділеній смузі на вул. Хмельницького.

Одночасно з рухом автобусів, що на виділеній смузі, на суміжних смугах (другій та третій) рухалися легкові автомобілі з середньою наповненістю салонів  $\bar{n}_l = 1,5$  пасажирів

рів. Для них середні часові витрати становили відповідно:

- вул. Хмельницького, зранку  
 $T_{з1} = \bar{t}_{pz}'' / \bar{n}_л = 0,725 / 1,5 = 0,484$  хв/пас.;

увечері  $T_{в1} = \bar{t}_{pv}'' / \bar{n}_л = 0,593 / 1,5 = 0,395$  хв/пас.;

- вул. Липинського (у спільному потоці), зранку  $T_{з2} = \bar{t}_{pz} / \bar{n}_л = 1,06 / 1,5 = 0,707$  хв/пас.; увечері  $T_{в2} = \bar{t}_{pv} / \bar{n}_л = 1,07 / 1,5 = 0,713$  хв/пас. автомобіля.

Витрати часу одного пасажирів автобуса та пасажирів легкового автомобіля на проїзд ділянки вул. Липинського у спільному потоці становлять відповідно: зранку  $T_{з2} = 0,011$  хв/пас. автобуса та  $0,706$  хв./пас. автомобіля; увечері  $0,011$  хв./пас. автобуса та  $0,707$  хв./пас. автомобіля. Витрати часу пасажирів, що у легкових автомобілях, які рухаються по вул. Липинського, більші за витрати часу пасажирів в автобусах:  $1,46$  разів зранку ( $\Delta t_{лз} = \bar{t}'_{з2} / \bar{t}_{з2}$ ) та  $1,81$  разів увечері (в середньому  $1,65$ ), порівняно з вул. Хмельницького ( $\Delta t_{лв} = \bar{t}'_{в2} / \bar{t}_{в1}$ ).

Можна визначити, у скільки разів витрати часу пасажирів на проїзд ділянки вул. Хмельницького у салоні легкового автомобіля (на другій та третій смугах) будуть більшими за витрати часу пасажирів автобусів на виділеній смузі: зранку  $\Delta t_з = T_{з1} / \bar{t}_{з1} = 0,484 / 0,010 = 48,4$  разів, увечері  $\Delta t_в = T_{в1} / \bar{t}_{в1} = 0,395 / 0,007 = 56,4$  рази (в середньому у  $52,4$  рази).

Тепер можна оцінити вартість часу пасажирів автобусів на виділених смугах та пасажирів легкових автомобілів, (які рухаються на другій та третій смугах) в одному напрямку по вул. Хмельницького. Якщо взяти за основу вартість однієї години праці однакою для двох категорій пасажирів з урахуванням мінімального прожиткового рівня  $S_{пм} = 2920$  грн. (станом на 2024 рік), для яких місячний робочий фонд часу становив  $\Phi_м = 200$  год, то 1 год коштувала  $C_1 = S_{пм} / \Phi_м = 14,6$  грн. Тоді вартість часових витрат від пересування кожної категорії пасажирів можна розрахувати за виразом:

$$C_{з(в)} = \frac{t_{з(в)} \cdot S_{пм}}{60 \cdot \Phi_м}$$

У такому разі пасажир легкового автомобіля втрачає за цей проїзд зранку  $C_з = 0,117$  грн/пас; увечері відповідно  $C_в = 0,096$  грн/пас; пасажир автобуса – зранку  $0,0024$  грн/пас; увечері –  $0,0017$  грн/пас.

Отримане вказує на те, що пасажирів в автобусах, які рухаються по виділеній смузі, у вигрші, порівняно з пасажирів у легкових автомобілях, що рухаються одночасно в суміжних смугах (друга та третя смуги), оскільки їхні втрати менші на  $0,093$  грн/пас. зранку і на  $0,094$  грн/пас. Вартість часу на проїзд пасажирів у легкових автомобілях перевищувала у  $48,75$  рази зранку та  $56,47$  рази увечері такі ж вартості проїзду пасажирів у салонах автобусів на виділених смугах. Середнє значення цього перевищення становить  $52,61$  ( $(48,75+56,47)/2=52,61$ ).

### Висновки

Встановлено, що пасажирів в автобусах, які рухаються по виділеній смузі, у вигрші порівняно з пасажирів в легкових автомобілях, що рухаються одночасно в суміжних смугах (2-га та 3-тя смуги). Оцінені часові втрати коштують для одного пасажирів легкового автомобіля  $0,117$  грн/пас. (зранку) та  $0,096$  грн/пас. (увечері) порівняно з затратами пасажирів автобусів –  $0,0024$  грн/пас. (зранку) і на  $0,0017$  грн/пас. (увечері). Витрати других менші на  $0,093$  грн/пас. (зранку) і на  $0,094$  грн/пас. (увечері). Вартість часу на проїзд пасажирів у легкових автомобілях перевищувала в середньому у  $52,61$  рази такі ж вартості проїзду пасажирів у салонах автобусів на виділених смугах. У подальших дослідженнях з розширенням географії щодо запровадження виділених автобусних смуг проєктантам потрібно приймати відповідні компромісні рішення, зважаючи на всіх учасників руху, не тільки автобуси. Наприклад, інформаційно-вказівний знак 5.8 «Дорога зі смугою руху маршрутних транспортних засобів» супроводжувати додатковою табличкою з часовим обмеженням дії знака з  $21:00$  до  $07:30$  годин, чи на вихідні та святкові дні.

### References

1. Highway Capacity Manual. U. S. customary units. (2000). Washington D.C.: Transportation Research Board, National Research Council. 1207 p.
2. Vikovych, I. A., Zubachyk, R. M. & Bespalov, D.O. (2014). Determination of the effectiveness of the «special

lane in the intersection area» method from the point of view of ensuring priority in time [Vyznachennya efektyvnosti metodu «spetsial'na smuha u zoni perekhrestya» z pozytsiyi zabezpechennya priorytetu u chasi]. *Technology Audit and Production Reserves*, 5/1(19), 40-45. doi: 10.15587/2312-8372.2014.28095. [in Ukrainian].

3. Zubachyk, R. M. (2014). Study of the effectiveness of the criteria for the implementation of special lanes for buses using VISUM [Doslidzhennya efektyvnosti kryteriyiv vprovadzhennya spetsial'nykh smuh dlya avtobusiv z vykorystannyam VISUM]. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5/3(71), 48-55. doi: 10.15587/1729-4061.2014.27855. [in Ukrainian].

4. Lytvyn, V. V. (2021). Justification of the rational parameters of the express traffic mode on city bus routes: candidate's dissertation. [Obgruntuvannya ratsional'nykh parametriv ekspresnoho rezhymu rukhu na mis'kykh avtobusnykh marshrutakh: kandydats'ka dysertatsiia]. Dnipro: DUT. [in Ukrainian].

5. Zubachyk, R. M. (2015). Improvement of methods of ensuring priority traffic for shuttle buses on the city's street and road network: candidate's dissertation [Vdoskonalennya metodiv zabezpechennya priorytetnoho rukhu dlya marshrutnykh avtobusiv na vulychno-dorozhniy merezhi mista: kandydats'ka dysertatsiia]. Lviv: LPNU. [in Ukrainian].

6. Institute for Transportation & Development Policy. (2007). *Bus Rapid Transit – Planning Guide*. Ed. 3. New York, 825 p.

7. Ministry of the Region of Ukraine (2018). DBN V.2.3-5:2018 «Streets and roads of settlements»: Information Bulletin. [DBN V.2.3-5:2018 «Vulytsi ta dorohy naselenykh punktiv»: Informatsiyyny byuleten'] # 5'2018. [in Ukrainian].

8. Ivanov, I. Ye. & Vdovychenko, V. O. (2021). The structure of the adaptive resonant model of the quality management of transport service in urban public passenger transport. *Vehicle and electronics. Innovative technologies [Struktura adaptivnoyi rezonansnoyi modeli upravlinnya yakystyu transportnoho obsluhovuvannya mis'kym hromads'kym pasazhyrs'kym transportom]*, 19/2021, 60-73. doi: 10.30977/VEIT.2021.19.0.60. [in Ukrainian].

9. Bayrak, M., & Guler, S. I. (2023). Linkage Problem in Location Optimization of Dedicated Bus Lanes on a Network. *Transportation Research Record*, 2677(6), 433-447. DOI: 10.1177/03611981221148490.

10. Fornalchyk, Ye. Yu., Kuzio, I. V. & Hilevych, V. V. (2019). Determining of buses delays on the routes [Do vyznachennya zatrymok avtobusiv na marshrutakh]. «*Lvivska Politehnika*», 910, 125-129. [in Ukrainian].

11. Hul, A.Ye. & Stepanchuk, O.V. (2017). Methods of calculating transport delays. [Metody rozrakhunku zatrymky transport. *Problemy Rozvytku Miskoho Seredovyscha*], 1(17), 69-77. [in Ukrainian].