

Хом'як А.Я., канд. техн. наук, Назіна М.О.

## ВИЗНАЧЕННЯ ЗАВАНТАЖЕНОСТІ МІСЬКИХ ВУЛИЦЬ І ДОРІГ

**Анотація.** У статті проаналізовані методики визначення рівнів завантаженості міських вулиць і доріг в Україні та США. Розглянуті переваги і недоліки обох методик. Зроблена спроба обчислення рівня зручності для однієї з вулиць м. Києва та порівняння отриманих результатів.

**Ключові слова:** рівень завантаженості, пропускна здатність, міські вулиці і дороги.

**Аннотация.** В статье проанализированы методики определения уровней загрузки городских улиц и дорог в Украине и США. Рассмотрены преимущества и недостатки обеих методик. Сделана попытка вычисления уровня удобства для одной из улиц г. Киева и сравнения полученных результатов.

**Ключевые слова:** уровень загрузки, пропускная способность, городские улицы и дороги.

**Annotation.** The article analyzed the methodology for determining the levels of service of urban streets in Ukraine and USA. The advantages and disadvantages of both methods were considered. The attempt to calculate the level of service to one of the streets of Kyiv and comparing the results was made.

**Key words:** the level of service, capacity, urban streets.

**Вступ.** Сучасний стан вулично-дорожньої мережі міста, яка була сформована ще 80 роках, часто не справляється з такою кількістю автомобілів, що наявна на сьогоднішній день. Зі зміною інтенсивності руху різко змінюються стан транспортного потоку і умови праці водіїв. Тож виникає необхідність в оцінці рівнів зручності. Оскільки багато розвинутих країн раніше зіткнулися з даною проблемою, актуально було б проаналізувати їхні системи оцінки завантаженості та комфортності поїздки містом.

Однією з таких країн є США, де спостерігаються, практично, найбільші і світі інтенсивності дорожнього руху.

**Основана частина.** При порівнянні методик визначення рівнів зручності в Україні та США, виявилось, що принциповий підхід при визначенні ефективності роботи транспортного потоку є різним.

По-перше, в США існують окремі методики для визначення рівнів зручності для доріг загального користування, міських доріг, і навіть є для пішохідних і велосипедних смуг.

По-друге, в Україні виділено чотири рівні зручності, а в США- шість.

По-третє, в США використовують дещо інші показники при визначенні рівнів зручності, при чому для кожного типу дороги, в залежності від особливостей її роботи, використовують різні показники.

Під рівнем зручності розуміють певну якість стану транспортного потоку, при якому встановлюється характерні умови роботи водія, умови комфортності поїздки і ефективності роботи транспортних засобів, а також аварійність.

Співставлення рівнів зручності наведено у таблиці 1.

В Україні існує система показників, які використовуються для характеристики транспортного потоку та умов руху.

- Коефіцієнт завантаження дороги рухом  $z$  – це відношення інтенсивності руху до пропускну здатності даної ділянки дороги.
- Коефіцієнт швидкості руху  $c$  – це відношення швидкості руху при будь-якому рівні зручності руху до бажаної швидкості руху у вільних умовах, яка обирається водієм для забезпечення високої комфортності поїздки.
- Коефіцієнт насичення рухом  $\rho$  – це відношення щільності транспортного потоку при будь якому рівні зручності до максимальної щільності транспортного потоку.

У таблиці 2 наведені значення даних показників, які є характерними для відповідного рівня зручності.

**Таблиця 1** – Порівняльна таблиця визначення рівнів зручностей руху в Україні та США

Україна	США
<p><b>А.</b> Обгони практично відсутні, автомобілі не взаємодіють між собою. Водієм може використовуватись бажана швидкість руху. Зниження швидкостей незначне. Емоційна напруга водія низька. Водії і пасажирки не відчувають незручностей при русі автомобіля. Поїздки комфортні. Транспортний потік вільний.</p>	<p><b>А.</b> Описує вільний потік, для якого характерною є середня швидкість, як правило, близька до 90 відсотків швидкості вільного потоку. Транспортні засоби не мають перешкод для маневрування всередині потоку. Затримка на сигналізованих перехрестях мінімальна.</p>
<p><b>Б.</b> В потоці безперервно зростає кількість автомобілів, які здійснюють обгони або змушені рухатись у колоніях за автомобілями, які рухаються повільно. Спостерігається різке падіння середніх швидкостей. Емоційна напруга швидко зростає по мірі завантаження рухом. При цьому рівні зручності руху водії відчувають зниження комфортності поїздки через необхідність виконання маневру обгону чи об'їзду. Транспортний потік стійкий.</p>	<p><b>В.</b> Описує досить безперешкодний рух при середній швидкості руху, як правило, близько 70 відсотків швидкості вільного потоку. Можливість маневрувати в рамках руху. Потік лише трохи обмежений у маневруванні, і затримки на сигналізованих перехрестях не значні.</p>
	<p><b>С.</b> Описує стабільну роботу, однак, можливість маневрувати й змінювати смуги руху більш обмежена, ніж при рівні обслуговування В, більше черг, несприятливий сигнал світлофору може сприяти зниженню середньої швидкості руху до близько 50 відсотків швидкості вільного потоку для вулиці даного класу.</p>
	<p><b>Д.</b> Межує з діапазоном, у якому невелике збільшення потоку може призвести до істотного збільшення затримок і зменшення швидкості руху. Рівень обслуговування D може бути пов'язаний з несприятливим сигналом світлофору, порушенням часу сигналів, значними інтенсивностями або поєднанням цих факторів. Середня швидкість руху - близько 40 відсотків швидкості вільного потоку.</p>
<p><b>В.</b> Відбувається подальше зниження швидкостей. Емоційна напруга водіїв досягає найвищого рівня. Водії відчувають незручності через відсутність можливості виконання маневру обгону автомобілів, які рухаються повільно, і необхідності уважного слідування за автомобілями, що знаходяться попереду. Комфортність поїздки різко знижується. Транспортний потік не стійкий.</p>	<p><b>Е.</b> Характеризується значними затримками і середньою швидкості руху - 33 відсотки або менше швидкості вільного потоку. Це викликано поєднанням несприятливих умов: великою кількістю світлофорів, великими інтенсивностями, тривалими затримками на перехрестях, порушенням циклів світлофору.</p>
<p><b>Г.</b> Рух відбувається з зупинками. Стан транспортного потоку близький до затору. Емоційна напруга водія знижується через зниження швидкостей і рух на постійних низьких швидкостях. Швидкості руху всіх автомобілів практично рівні між собою. Водії і пасажирки відчувають найбільші незручності поїздки. Рух відбувається з неекономічними швидкостями в колонному русі. Транспортний потік насичений.</p>	<p><b>Ф.</b> Характеризується потоком при вкрай низьких швидкостях, зазвичай від однієї третьої до одної четвертої швидкості вільного потоку. Затори на перехрестях, переважно, виникають в місцях з довгими затримками, великими інтенсивностями, що призводить до великих черг.</p>

**Таблиця 2** – Показники рівнів зручності, прийняті в Україні

Рівень зручності	Показник		
	z	c	p
А	$\leq 0,2$	$\geq 0,9$	$< 0,1$
Б	0,2...0,45	0,7...0,9	0,1...0,3
В	0,45...0,7	0,55...0,7	0,3...0,7
Г	0,7...1,0	0,55...0,4	0,7...1,0

В США для визначення рівнів зручності на міських вулицях і дорогах використовують значення середньої швидкості та клас дороги. Клас дороги залежить від того, які функції виконує дорога та від місця її розташування.

За допомогою таблиці 3 можна визначити клас дороги. У таблицях 4 і 5 наведено класифікація доріг за функціональним призначенням та за місцем розташування відповідно.

**Таблиця 3** – Визначення класу дороги за методикою США

Проектна категорія	Функціональне призначення	
	Магістральні	Місцеві
Високошвидкісні	I	-
Приміські	II	II
Перехідні	II	III або IV
Міські	III або IV	IV

Цікаво розглянути, як працює методика, яка застосовується у США, для міських доріг, оскільки саме у містах маємо найбільші проблеми з пропускну здатністю вулично-дорожніх мереж. Тож актуальним є питання як визначення завантаженості смуг руху, проїзної частини в цілому, так і його прогнозування.

Розглянемо описану методику на прикладі вул. Івана Мазепи, м. Київ.

1. Згідно таблиць 3-5 визначаємо, що вулиця відноситься до міських місцевих вулиць, а отже відноситься до IV класу доріг.
2. За таблицею 6 визначаємо швидкість вільного потоку, характерну для даного класу, вона становить 45 км/год.

**Таблиця 4** – Функціональна класифікація міських вулиць і доріг в США

Критерії	Функціональні категорії	
	Магістральні	Місцеві
Можливість доступу	До автострад, важливих центрів діяльності, основних транспортних пунктів	До магістральних доріг
Призначення	Достатньо тривалі поїздки між основними пунктами і проходить через місто	Подорож помірної довжини в межах відносно невеликих географічних районів

**Таблиця 5** – Характеристика автомобільних доріг за умовами пролягання

Критерії	Умови пролягання			
	Високошвидкісні	Приміські	Перехідні	Міські
Щільність примикань	Дуже низька щільність	Низька щільність	Середня щільність	Висока щільність
Тип дороги	Багатосмугова дорога з або без розділювальної смуги або двосмугова дорога з узбіччями		Багатосмугова дорога з або без розділювальної смуги, одностор. дорога, двосмугова дорога	Без розділювальної смуги одно-, двосторонні дороги з 2 або більше смугами руху
Паркування	немає		Іноді	Багато
Відокремлені ліві повороти	Є	Є	Часто	Іноді
Щільність світлофорів, світл./км	0,3-1,2	0,6-3,0	2-6	4-8
Обмеження швидкості, км/год.	75-90	65-75	50-65	40-55
Кількість пішоходів	Дуже мало	Мало	Декілька	Багато
Забудова придорожньої зони	Низька щільність	Нижча за середню щільність	Середня щільність	Висока щільність

**Таблиця 6** – Визначення швидкості вільного потоку для певного класу міських вулиць і доріг

Клас вулиці	I	II	III	IV
Межі швидкості вільного потоку, км/год.	90-70	70-55	55-50	50-40
Середня швидкість вільно потоку, км/год.	80	65	55	45

3. Визначаємо час проїзду ділянки за таблицею 7. Він становить 89 с/км
4. Визначаємо час затримки транспортних засобів через наявність регульованих перехресть. Розрахунок ведеться за наступними формулами:

$$d = d_1(PF) + d_2 + d_3 = 12,60 \cdot 1,0 + 0,3 = 12,90 \quad (1)$$

$$d_1 = \frac{0,5c \left(1 - \frac{g}{c}\right)^2}{1 - \left[\min(1, X) \frac{g}{c}\right]} = \frac{0,5 \cdot 100 \left(1 - \frac{53}{100}\right)^2}{1 - \left[0,233 \cdot \frac{53}{100}\right]} = 12,60 \quad (2)$$

$$d_2 = 900T \left[ (X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8klX}{cT}} \right] =$$

$$= 900 \cdot 0,17 \left[ (0,233 - 1) + \sqrt{(0,233 - 1)^2 + \frac{8 \cdot 0,5 \cdot 0,92 \cdot 0,233}{1700 \cdot 0,17}} \right] = 0,30 \quad (3)$$

де  $d$  – час затримки транспортних засобів через наявність регульованих перехресть, с/авт.;  $d_1$  – час постійної затримки, с/авт.;  $d_2$  – час постійно зростаючої затримки, с/авт.;  $d_3$  – час початкової затримки в черзі, визначається, при наявності черги на світлофорі;  $PF$  – показник, який враховує вплив роботи світлофора на час постійної затримки, визначається за таблицею 9;  $X$  – коефіцієнт завантаження дороги рухом;  $C$  – тривалість циклу, с;  $c$  – пропускна здатність, авт./год.;  $g$  – ефективний час зеленого сигналу, с;  $T$  – тривалість періоду, який аналізується, год.;  $k$  – додатковий коефіцієнт, що враховує вплив світлофора на затримку;  $l$  – додатковий показник, який враховує вплив світлофорів, що знаходяться попереду.

**Таблиця 7** – Визначення часу проїзду ділянки

Клас вулиці	I			II			III		IV		
Швидкість вільного потоку, км/год. <sup>1</sup>	90	80	70	70	65	55	55	50	55	50	40
Довжина ділянки, м	Час проїзду ділянки, с/км										
100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	129	159
200	-	-	-	-	-	-	88	91	97	99	125
400	59	63	67	66	68	75	75	78	77	81	96
600	52	55	61	60	61	67	-	-	-	-	-
800	45	49	57	56	58	65	-	-	-	-	-
1000	44	48	56	55	57	65	-	-	-	-	-
1200	43	47	54	54	57	65	-	-	-	-	-
1400	41	46	53	53	56	65	-	-	-	-	-
1600	40	45	51	51	55	65	-	-	-	-	-

Для визначення показника  $PF = 1,0$  (за таблицею 9) необхідно визначити тип проїзду автомобілів за допомогою коефіцієнта утворення черги (за таблицею 8):

$$R_p = P\left(\frac{c}{g}\right) = 0,5 \left(\frac{100}{53}\right) = 0,94 \quad (4)$$

де  $P$  – частка автомобілів, які проїжджають на зелений сигнал світлофора

$$g = (C - L) \frac{CV}{CS} = (100 - 4) \frac{20}{36} = 53 \text{ с} \quad (5)$$

де  $L$  – загальний втрачений час, приймається 4 с;  $CV$  – найбільша інтенсивність для даної фази, авт./год.;  $CS$  – сума найбільших інтенсивностей по всім фазам, авт./год.

**Таблиця 8** – Тип проїзду автомобілів

Тип проїзду	Межі коефіцієнта утворення черги	Середнє значення коефіцієнта утворення черги	Характеристика	Умови для роботи світлофору
1	$\leq 0,5$	0,333	Щільна група, яка складається з 80% автомобілів, що в основному з'явилися на початку увімкнення червоного світла	Дуже погані
2	0,5-0,85	0,667	Група середньої щільності, автомобілі якої прибувають в середині червоної фази або 40-80% прибуваючих протягом фази червоного світла	Несприятливі
3	0,85-1,15	1,000	Група складається з 40% автомобілів на перехресті, які не пов'язані між собою	Випадкові прибуття
4	1,15-1,50	1,333	Група автомобілів, складає 40-80 % автомобілів на перехресті, які проїжджають на зелену фазу	Сприятливі
5	1,50-2,00	1,667	Помірної щільності групи які складаються з більш ніж 80 % автомобілів, які приїжджають на початок зеленої фази	Досить сприятливі
6	$> 2,00$	2,000	Ідеальні умови, які характеризують щільні потоки, які з мінімальними відстанями між автомобілями проїжджають декілька перехресть без втручання інших автомобілів з боку	Виняткові

**Таблиця 9** – Визначення показнику, який враховує вплив роботи світлофора на час постійної затримки

Відношення тривалості зеленої фази до тривалості циклу	Тип проїзду автомобілів					
	1	2	3	4	5	6
0,2	1,167	1,007	1,000	1,000	0,833	0,750
0,3	1,286	1,063	1,000	0,986	0,714	0,571
0,4	1,445	1,136	1,000	0,895	0,555	0,333
0,5	1,667	1,240	1,000	0,767	0,333	0,000
0,6	2,001	1,395	1,000	0,576	0,000	0,000
0,7	2,556	1,653	1,000	0,256	0,000	0,000

Додатковий коефіцієнт, що враховує вплив світлофора на затримку  $k = 0,5$  (для світлофорів без автоматичного регулювання).

Додатковий показник, який враховує вплив світлофорів, що знаходяться попереду, визначається за таблицю 10.

**Таблиця 10** – Визначення додаткового показнику, який враховує вплив світлофорів, що знаходяться попереду

X	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	$\geq 1,0$
l	0,922	0,858	0,769	0,650	0,500	0,314	0,090

Швидкість проїзду становить:

$$S_A = \frac{3600L}{T_R + d} = \frac{3600 \cdot 0,5}{89 + 12,9} = 17,66 \text{ км/год} \quad (6)$$

де  $L$  – загальна довжина ділянки, км;  $T_R$  – загальний час проїзду ділянки, с (табл. 7).

Визначення рівнів завантаження для отриманої швидкості виконують за таблицею 11.

**Таблиця 11** – Визначення рівня зручності

Рівень зручності	Клас дороги			
	I	II	III	IV
A	>72	>59	>50	>41
B	56-72	46-59	39-50	32-41
C	40-56	33-46	28-39	23-32
D	32-40	26-33	22-28	18-23
E	26-32	21-26	17-22	14-18
F	$\leq 26$	$\leq 21$	$\leq 17$	$\leq 14$



Таким чином, на вул. Івана Мазепи спостерігаємо рівень зручності **Е** за табл. 11.

Для визначення рівня зручності за вітчизняною методикою необхідно визначити пропускну здатність за формулою:

$$P = \alpha \sum_1^n P_{max} \beta_i \quad (7)$$

$$\alpha = \frac{L}{L + \frac{v^2}{2} \left( \frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) + \frac{v}{2} (T_{\text{ц}} - t_a)} \quad (8)$$

де  $P_{max}$  – максимальна пропускну здатність;  $\beta_i$  – коефіцієнт використання пропускну здатності смуги руху: для першої смуги руху – 1,0, для другої – 0,85;  $\alpha$  – коефіцієнт, що враховує вплив перехресть;  $L$  – відстань між перехрестями;  $v$  – розрахункова швидкість між перехрестями, м/с;  $a$  – прискорення при розгоні, м/с<sup>2</sup>;  $b$  – уповільнення при гальмуванні, м/с<sup>2</sup>;  $T_{\text{ц}}$  – тривалість циклу регулювання, с;  $t_a$  – тривалість зеленої фази, с.

Як видно з наведених формул, розрахунок пропускну здатності потребує визначення таких параметрів, як максимальна пропускну здатність, яка залежить від оптимальної швидкості, а також прискорення при розгоні та уповільнення при гальмуванні. Вищезазначені показники є складними для розрахунку та немає чіткої методики для її обчислення. Тому використовуємо рекомендовані значення пропускну здатності для багато смугових доріг, для крайньої лівої смуги – 1800 авт./год., для крайньої правої – 1250 авт./год. Таким чином коефіцієнт завантаженості рухом становить 0,24. Таким чином за вітчизняною методикою на даній вулиці рівень зручності **Б**.

Таким чином при порівнянні результатів отримана розбіжність. Це пов'язано з тим, що при визначенні пропускну здатності, а отже рівнів зручності не враховувався вплив світлофорного регулювання.

Порівняння наведених методик, показало, що у методиці США:

1. Більша кількість рівнів зручності, що дозволяє детальніше аналізувати, моделювати потік, і є досить важливим при організації руху, особливо, за високих інтенсивностей.
2. Методика не прив'язана до пропускної здатності, вплив дорожніх умов на рівні завантаженості враховується безпосередньо.
3. Наявність окремої методики для міських вулиць і доріг дозволяє врахувати функціональні особливості дороги та умови пролягання.
4. Зручним є зведення обчислення рівня зручності до єдиного показника – середньої швидкості руху. Враховується фактор світлофорного регулювання, що суттєво впливає на стан транспортного потоку.

### **Висновок**

Вітчизняна методика визначення завантаженості рухом, особливо, для вулично-дорожніх мереж не є досконалою. Спроба застосувати методику США в наших умовах показала, що вітчизняний рівень зручності дещо завищений у порівнянні з тим, який отриманий за методикою США. Тож дане питання потребує ретельного дослідження, оскільки є основою для обґрунтування та прогнозування пропускної здатності вулично-дорожніх мереж.

### **Література**

1. Сильянов В.В., Домке Э. Р. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц: учебник. – М. : Издательский центр «Академия», 2008. – 352 с.
2. Білятинський О.А., Заворицький В.Й., Старовойда В.П., Хом'як Я.В. Проектування автомобільних доріг: підручник. У 2 ч. Ч.1. – К. : Вища шк., 1997. – 518 с.
3. Highway capacity manual. – Transport research board, 2000. – 1207 p.