

DOI: 10.32347/2786-7269.2024.10.407-416

УДК 656.1

к.т.н., доцент **Осипов В.О.**,Osipov.valentin100@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9284-7919,
Київський національний університет будівництва і архітектури

ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КІЛЬЦЕВИХ ПЕРЕСІЧЕНЬ МАЛОГО РАДІУСУ НА ПРОПУСКНУ СПРОМОЖНІСТЬ ВУЛИЦЬ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТИВ

Вивчено питання доцільності змін геометричних параметрів кільцевих пересічень в розрізі їх впливу на пропускну спроможність вулично-дорожньої мережі м. Києва. Проведені експериментальні дослідження впливу висоти кільцевого острівця на рівень затримки транспортних засобів. Вивчені вимоги сучасних нормативних документів з цього питання.

Ключові слова: кільцеве пересічення; транспортний потік; затримка в русі; вулично-дорожня мережа.

Постановка проблеми. Відомо, що пропускну спроможність є одним із найважливіших показників, що формують ефективне функціонування кільцевого пересічення. Актуальним залишається питання вивчення впливу окремих геометричних параметрів інженерного обладнання на цей показник.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Низкою дослідників запропоновано різні моделі оцінки пропускну спроможності, такі як модель прийняття розриву у потоці, моделі руху за лідером, емпіричні регресійні моделі тощо.

Метою публікації є пошук інженерних рішень щодо знаходження оптимальних геометричних параметрів для виконання інженерним обладнанням своїх функцій без суттєвих втрат у русі.

Основна частина. Однією з показових теорій руху транспорту кільцевими пересіченнями до нещодавно була теорія переплетення потоків, запропонована J.G. Wardrop [1]. Науковцем запропоновано в якості характеристики пропускну спроможності пересічення використовувати максимальну пропускну спроможність зони переплетення потоків, та розроблено математичну модель:

$$Q = 280 \cdot \frac{(1 + \frac{e}{w}) \cdot (1 - \frac{p}{3})}{1 + \frac{w}{l}}, \quad (1)$$

де Q - пропускна спроможність;

$e = (e1 + e2)/2$ - середня ширина виїзду;

$e1$ - ширина в'їзду в зоні доступу, м;

$e2$ - ширина в'їзду безпосередньо перед кільцевою проїзною частиною, м;

w - ширина зони переплетення, м;

p - частка потоку переплетення в загальному потоці на ділянці переплетення (%);

l - довжина зони переплетення потоків, м.

Нажаль використання вказаної теорії можливе тільки при умові, коли діаметр центрального острівця складає не менше ніж 40 м, що практично не задовольняє умовам щільної забудови міста; теорія найбільш застосовна для кільцевих пересічень середнього та великого розміру з кількома смугами руху, тому в умовах населених пунктів вона навряд знайде широке застосування.

Емпірична регресійна модель прогнозує пропускну спроможність кільцевих пересічень шляхом визначення рівняння регресійної залежності між пропускною спроможністю в'їзду на кільце та кількістю транспорту, що рухаються кільцевою проїзною частиною. В умовах насиченого транспортного потоку точність прогнозу підвищується, додатково в моделі можливо врахувати так званий псевдоконфлікт, визваний транспортними засобами (ТЗ), що виїжджають з кільцевого пересічення [2]:

$$C_e = e \frac{A - BQ_c}{10000} \quad (2)$$

Представлена формула (2), [3] - одна з моделей, яка використовується у нормативних документах провідних країн світу, де C_e - пропускна спроможність в'їзду;

Q_c - кількість ТЗ, що конфліктують;

A, B - це відсікаючий та кутовий коефіцієнти.

Проблема такої моделі полягає у складності її використання, як типової; для кожного вузла буде потрібен окремий ретельний збір вихідних даних, що у свою чергу збільшить вартість роботи з проектування, та неминуче призведе до помилок при розрахунках. Модель прийняття розриву у потоці працює, коли потоки транспорту, які рухаються кільцевою проїзною частиною, мають пріоритет перед транспортними потоками, що входять до кільця, що відповідає Правилам дорожнього руху України та більшості європейських країн, у зв'язку з чим допустимо застосувати цю модель для оцінки пропускної спроможності [4]. Вказана модель має систематичну макроструктуру та розвинуту теоретичну конотацію, тому вона може успішно застосовуватися для оцінки пропускної спроможності кільцевих пересічень. Додатковою перевагою моделі вважається

можливість врахування моделі поведінки водія (наприклад, при пересіченні зони дилеми) [5-8].

Модель прийняття розриву використовує низку ключових параметрів, які описують мікроскопічні особливості транспортного потоку, такі як критичний розрив в потоці, інтервал в'їзду на кільце між сусідніми ТЗ. Завдяки цьому модель може описувати залежні від часу характеристики транспортного потоку. На основі гіпотези, яку запропонував Tanner [9], та в якій допущено, що головний транспортний потік підкорюється здвигнутому негативному експоненціальному розподілу, виведено рівняння оцінки пропускної здатності на основі другорядного потоку на кільцевому нерегульованому пересіченні:

$$C_e = \frac{3600 \cdot q_c \cdot (1 - \Delta \cdot q_c) \cdot e^{-q_c(T-\Delta)}}{1 - e^{-q_c T_0}}, \quad (3)$$

де q_c - інтенсивність руху по головному напрямку (ТЗ/год.);

Δ - мінімальний інтервал між ТЗ головного потоку, сек.;

T - критичний розрив у потоці, сек.;

T_0 - інтервал між сусідніми ТЗ в черзі, сек.

До недоліків цієї моделі можна віднести те, що вона практично ігнорує вплив геометричних параметрів елементів кільцевого пересічення, у тому числі центрального кільця, що у свою чергу може мати суттєвий вплив на пропускну здатність.

Геометричні параметри кільцевого пересічення є на сьогодні фактором впливу на рух транспортного потоку, який, на думку автора, потребує додаткового вивчення. Відсутність у певної частини водіїв знань та навиків руху кільцевим пересіченням вимагають від дослідників пошуку способів мінімізації впливу людського фактору на проблему. Задача дослідження - добитися передбачуваності поведінки водіїв завдяки фізичному каналізуванню транспортних потоків. Згідно з пунктом 9.2.2.2 ДБН В. 2.3-4:2015 [10], основні геометричні параметри кільцевих пересічень визначаються відповідно до ГБН В.2.3-37641918-555:2016 «Автомобільні дороги. Транспортні розв'язки в одному рівні. Проектування» [11]. У вказаному нормативі визначені всі геометричні параметри елементів пересічення, достатньо розпливчатим залишилися тільки параметри висоти безпосередньо центрального кільця. Згідно з вказаним нормативом (пункт 6.1.8.2) з метою полегшення розвороту великогабаритного транспорту вся або майже вся поверхня центрального кільцевого острівця повинна бути доступною для руху і мати тверде покриття - асфальтобетонне, цементобетонне, бруківку або інший матеріал, який може витримувати навантаження від розрахункового транспорту.

На центральних острівцях міні-кільцевих розв'язок згідно з [11] не можна розміщувати жодної перешкоди (знаки, світильники, маячки, рослини тощо). Острівці мають бути припідняті по крайці на висоту від 5 мм до 10 мм над рівнем проїзної частини. Острівець слід влаштовувати куполоподібної форми з підвищенням центральної частини (вершини купола) відносно крайки оточуючого кільця на 150 мм. Покриття поверхні центрального острівця міні-кільцевої розв'язки повинно бути світлішим ніж покриття колової проїзної частини та мати світлоповертаючі властивості.

Згідно з програмою облаштування кільцевих пересічень малого радіусу у місті Києві було влаштовано близько 30 пересічень різної конфігурації, у тому числі різної висоти центрального острівця. Так, на вул. Уїнстона Черчилля (рис. 1) було влаштовано «пологий» острівець згідно з [11], у той же час на вул. Кіото (рис. 2) влаштовано острівець, периметр якого облаштовано бордюром камінням заввишки 15 см над проїзною частиною по всьому периметру.



Рис. 1. Пересічення із пологим центральним кільцем, вул. Уїнстона Черчилля, м. Київ

З метою визначення впливу висоти центрального острівця кільцевого пересічення на пропускну спроможність транспортних потоків були проведені виміри затримки автомобілів у вказаних місцях. Під затримкою розуміється виконання водієм маневру об'їзду центрального кільця згідно з чинними ПДР із зниженням швидкості ТЗ. Суть дослідження полягає у визначенні сумарної затримки, накопиченої призупиненими перед центральним кільцем автомобілями і приведення її до одного умовного автомобіля, що проїхав безпосередньо через центральне кільце.



Рис. 2. Пересічення із припіднятим центральним кільцем, вул. Кіото, м. Київ

В результаті сформувався наступна теоретична залежність:

1. Загальна затримка, ТЗ/сек., по цьому напрямку за період спостереження:

$$T_{zi} = S_1 10, \quad (4)$$

де S_1 - загальна кількість ТЗ, які проїхали; 10 - кількість секунд.

2. Середня затримка призупиненого ТЗ, сек., що пройшов за напрямком:

$$t_{zi} = \frac{T_{zi}}{S_2}, \quad (5)$$

де S_2 - кількість призупинених ТЗ.

3. Відсоток призупинених ТЗ:

$$K = \frac{S_2}{S_2 + S_3} 100\%, \quad (6)$$

де S_3 - кількість ТЗ, що пройшли без призупинення через кожну хвилину спостереження.

4. Умовна затримка ТЗ, ТЗ/год., по цьому напрямку за 1 год.

$$T_{zic} = \frac{\ddot{t}_{zi} \cdot N_i}{3600}, \quad (7)$$

де N_i - інтенсивність напрямком на годину.

Дослідження мало наступний вигляд. У заздалегідь підготовлені таблиці (табл. 1, 2) за кількістю напрямів руху на обстежуваній ділянці вулично-дорожньої мережі заносяться дані про кількість ТЗ, що пройшли без зупинки, та кількість автомобілів, що призупинилися перед центральним кільцем та здійснили маневр його об'їзду із зниженням швидкості ТЗ згідно з чинними ПДР. Підрахунок проводився протягом 10 хвилин. Результати вимірів занесено до таблиць.

Таблиця 1

Затримки ТЗ на вул. Кіото

Час, хв.	Кількість ТЗ, що проїхали через кільцеве пересічення в наступні моменти часу, сек.						Загальне число ТЗ за хвилину	Кільк. ТЗ, що призуп. за хвилину	Кільк. ТЗ, що пройшли без призуп. за хвилину
	10	20	30	40	50	60			
1	-	1	2	2	1	1	7	7	-
2	1	1	1	-	-	1	4	4	-
3	1	1	1	-	1	-	4	4	-
4	-	-	2	-	1	-	3	3	-
5	-	1	-	-	1	1	3	3	-
6	1	2	1	-	1	-	5	5	-
7	1	1	1	1	1	1	6	6	-
8	-	3	1	1	1	-	6	6	-
9	1	1	-	-	-	1	3	3	-
10	3	1	1	-	1	1	7	7	-
Разом за 10 хвилин							$S_1=48$	$S_2=48$	$S_3=0$

Таблиця 2

Затримки ТЗ на вул. Уїнстона Черчилля

Час, хв.	Кількість ТЗ, що проїхали через кільцеве пересічення в наступні моменти часу, сек.						Загальне число ТЗ за хвилину	Кільк. ТЗ, що призуп. за хвилину	Кільк. ТЗ, що пройшли без призуп. за хвилину
	10	20	30	40	50	60			
1	2	-	-	1	1	1	5	5	-
2	-	-	1	-	-	-	1	1	-
3	3	-	1	1	-	-	5	4	1
4	1	1	1	-	1	1	5	4	1
5	1	-	-	1	1	-	3	3	-
6	-	1	1	1	-	-	3	3	-
7	1	2	1	-	1	-	5	4	1
8	1	1	-	-	-	-	2	2	-
9	1	1	1	1	-	1	5	5	-
10	1	3	1	-	-	1	6	5	1
Разом за 10 хвилин							$S_1=40$	$S_2=36$	$S_3=4$

Виходячи з отриманих даних пропонується пропускну спроможність на кільцевих пересіченнях малих радіусів з урахуванням висоти центрального кільця $Lz0$ вираховувати за формулою:

$$Lz0 = A - B \times qk, \quad (8)$$

де $Lz0$ - пропускну спроможність на в'їзді, авто/год;

$A - B$ - параметри, які залежать від висоти центрального острівця;

qk - навантаження в кільці безпосередньо перед під'їздом, ТЗ/год.

Параметр A (при висоті центрального кільця 15 см) дорівнює 1,1, параметр B (при висоті центрального кільця менше 15 см) дорівнює 0,9.

Висновки. У результаті проведеного дослідження виявлено, що затримки транспортних засобів на під'їзді до центрального кільця не мають суттєвого впливу на швидкість руху транспортного потоку, проте швидкість руху транспортного потоку може мати значне зниження у разі збільшення висоти центрального кільця.

З'ясовано, що при використанні центрального кільця, побудованого згідно з [11] 10% водіїв, що попадають на кільцеве пересічення, прокладають маршрут прямою траєкторією ігноруючи існуючі вимоги дорожніх знаків, розмітки та Правил дорожнього руху, що може говорити про часткову неефективність виконаних заходів та пропорційне підвищення небезпеки на об'єкті через неочікуваний маневр, який стає можливим через недосконалі геометричні особливості центрального кільця, рис. 3 [12].

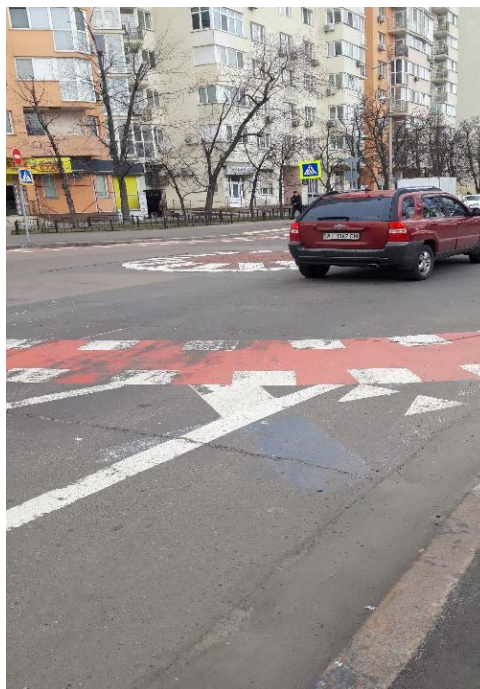


Рис. 3. Проїзд кільцевого пересічення з порушенням ПДР

Таким чином, у зв'язку з виявленими обставинами виникає потреба у зміні підходів до проектування, в яких було б закладено обов'язкове підвищення центрального кільця на рівень 15 см, та внесення змін до існуючих нормативів. Такі заходи дадуть можливість на законодавчому рівні в нормувати недосконалість засобів заспокоєння руху в населених пунктах.

Список літератури

1. J.G. Wardrop, «Proceedings of the First International Conference on Operational Research» в *The traffic ca-pacity of weaving sections of roundabouts.*, Oxford. 1957. 123 p.
2. H.M. Al-Madani, «Capacity of Large Dual and Tri-ple-Lanes Roundabouts During Heavy Demand Condi-tions» *Arabian Journal for Science and Engineering*, т. 38, № 3. 2012. P. 491-505.
3. B. Robinson и L. Rodegerdts, «*Transportation Research Board National Research Council*» в *Capacity and performance of roundabouts: A summary of recom-mendations in the FHWA roundabout guide*, Washing-ton, DC, 2000. 19 p.
4. R.J. Troutbeck, «Intersections without Traffic Sig-nals II» в *Unsignalized intersections and roundabouts in Australia: developments*, Bochum, 1991. 412 p.
5. Осипов В. О. Підвищення ефективності управління процесами у сфері безпеки руху за ознаками додаткових критеріїв / В.О. Осипов // *Просторовий розвиток*. Київ, КНУБА. Випуск 6 (2023). С. 203-213. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2023.6>
6. Melnichenko O. Scoring method of evaluating road safety as part of management system / O. Melnichenko, V. Osypov // *Periodyk Naukowy Akademii Polonijnej, Częstochowa (PNAP)*, 2023, 61 (2023) nr 6, P. 195-202. DOI: <https://doi.org/10.23856/6124>
7. Осипов В.О. До проблеми прийняття рішень з управління безпекою руху / В.О. Осипов // *Просторовий розвиток: Науковий збірник* / Головн. ред. О. Шкуратов. К.: КНУБА, 2024. Вип. 8. С. 338-347. DOI: [10.32347/2786-7269.2024.8.338-347](https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.8.338-347)
8. Мельниченко О.І. Метод зон дилеми як один з інструментів управління безпекою руху на окремих ділянках доріг / О. І. Мельниченко, В.О. Осипов // *Науковий журнал «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво»*, 2024. Випуск 115. С. 62-71. DOI:[10.33744/0365-8171-2024-115.2-062-071](https://doi.org/10.33744/0365-8171-2024-115.2-062-071)
9. J.C. Tanner, «The capacity of an uncontrolled inter-section» *Biometrika*, 1967. P. 657-658.
10. Автомобільні дороги: ДБН В. 2.3-4:2015. [Чинний від 2016-10-31]. К.: Держбуд України, 2015. 91 с.
11. ГБН В.2.3-37641918-555:2016 Автомобільні дороги. Транспортні розв'язки в одному рівні. Проектування: ГБН В.2.3-37641918-555:2016 [Чинні з 2016-01-07]. К.: Укравтодор, 2016. 61 с.
12. Густелєв О.О. Досвід використання засобів заспокоєння руху у м. Києві / О.О. Густелєв, В.О. Осипов // *Збірник тез Міжнародної науково-практичної конференції*

«Сучасні матеріали та технології для будівництва та ремонту автомобільних доріг». К.: ДП «ДерждорНДІ», 2019. С. 20-22.

PhD Valentyn Osypov,
Kyiv National University of Construction and Architecture

INFLUENCE OF GEOMETRIC PARAMETERS OF ROUND INTERSECTIONS OF SMALL RADIUS ON STREET CAPACITY OF POPULATED POINTS

The question of the expediency of changes in geometric parameters in terms of their influence on the carrying capacity of the street and road network of the city of Kyiv studied. Experimental studies of the influence of the height of the ring island on the level of delay of vehicles were carried out. The requirements of modern normative documents on this issue studied. A number of researchers have proposed different capacity estimation models, such as flow gap acceptance model, leader movement models, empirical regression models, etc. The purpose of the publication is to find engineering solutions for finding optimal geometric parameters for the equipment to perform its functions without significant losses in motion. Because of the research, it was found that the delays of vehicles at the approach to the central ring do not have a significant effect on the speed of traffic flow, however, the speed of traffic flow can have a significant decrease in the case of an increase in the height of the central ring. It was found that when using the central ring, built according to 10% of drivers who come across a ring intersection, they take a direct route, ignoring the existing requirements of road signs, markings and Traffic rules, which may indicate the partial ineffectiveness of the implemented measures and a proportional increase in the danger at the site due to an unexpected maneuver, which becomes possible due to the imperfect geometric features of the central ring. Thus, in connection with the identified circumstances, there is a need to change the approaches to design, which would include a mandatory increase of the central ring to the level of 15 cm, and to make changes to the existing standards. Such measures will provide an opportunity at the legislative level to standardize the imperfections of means of calming and regulating traffic, first, in populated areas.

Keywords: roundabout; traffic flow; traffic delay; street and road network.

REFERENCES

1. J.G. Wardrop, «Proceedings of the First International Conference on Operational Research» в *The traffic ca-pacity of weaving sections of roundabouts.*, Oxford, 1957. 123 p. {in English}

2. H.M. Al-Madani, «Capacity of Large Dual and Tri-ple-Lanes Roundabouts During Heavy Demand Condi-tions» *Arabian Journal for Science and Engineering*, т. 38, № 3. 2012. P. 491-505. {in English}
3. B. Robinson и L. Rodegerdts, «*Transportation Research Board National Research Council*» в *Capacity and performance of roundabouts: A summary of recom-mendations in the FHWA roundabout guide*, Washing-ton, DC, 2000. 19 p. {in English}
4. R.J. Troutbeck, «Intersections without Traffic Sig-nals II» в *Unsignalized intersections and roundabouts in Australia: recent developments*, Bochum, 1991. 412 p. {in English}
5. Osypov V.O. Increasing the efficiency of process management in the field of traffic safety based on additional criteria / V. O. Osypov // *Spatial development*. Kyiv, KNUBA. Issue 6 (2023). P. 203-213. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2023.6> {in Ukrainian}
6. Melnichenko O. Scoring method of evaluating road safety as part of management system / O. Melnichenko, V. Osypov // *Periodyk Naukowy Akademii Polonijnej, Częstochowa (PNAP)*, 2023, 61 (2023) nr 6, R. 195-202. DOI: <https://doi.org/10.23856/6124> {in Ukrainian}
7. Osypov V.O. To the problem of decision-making in traffic safety management / V.O. Osypov // *Spatial development: Scientific collection / Chief. ed. O. Shkuratov*. K.: KNUBA, 2024. Issue 8. P. 338-347. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.8.338-347> {in Ukrainian}
8. Melnychenko O.I. The method of dilemma zones as one of the tools of traffic safety management on certain road sections / O.I. Melnychenko, V.O. Osypov // *Scientific journal «Roads and road construction»*, 2024. Issue 115. Part 2. P. 62-71. DOI: <https://doi.org/10.33744/0365-8171-2024-115.2-062-071> {in Ukrainian}
9. J.C. Tanner, «The capacity of an uncontrolled inter-section» *Biometrika*, 1967. P. 657-658. {in English}
10. Roads: DBN V. 2.3-4:2015. [Effective from 2016-10-31]. K.: Derzhbud of Ukraine, 2015. 91 p. {in Ukrainian}
11. GBN V.2.3-37641918-555:2016 Motor roads. Transport junctions are on the same level. Design: GBN V.2.3-37641918-555:2016 [Effective from 2016-01-07]. K.: Ukravtodor, 2016. 61 p. {in Ukrainian}
12. Gustelev O.O. Experience of using traffic calming devices in Kyiv / O.O. Gustelev, V.O. Osypov // *Collection of theses of the International scientific and practical conference «Modern materials and technologies for construction and repair of highways»*. K.: SE «DerzhdorNDI», 2019. P. 20-22. {in Ukrainian}