

Хітров І.О.

*Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна***ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПЕРЕХРЕСТЯ З КРУГОВИМ РУХОМ**

Автомобільні дороги забезпечують безперервний, безпечний та зручний рух транспортних засобів. Перехрестя з круговим рухом є популярним рішенням серед транспортних розв'язок. Їх кількість щорічно зростає, головним чином з міркувань безпечності його функціонування та високої якості обслуговування для всіх учасників дорожнього руху.

Наразі спостерігається глобальна автомобілізація населення, спостерігається постійне збільшення кількості транспортних засобів, і це характерно для кожного міста і містечка. Тому проектування перехрестя з круговим рухом повинно враховувати всі тенденції розвитку транспортної інфраструктури та демографії населення, а також повинно здійснюватися постійний їх моніторинг.

Кожне перехрестя має власні визначальні характеристики, які можуть впливати на його безпечність та зручність проїзду, однак потребують ретельного підходу для конкретних дорожніх умов (найчастіше пошуку золотой середини між безпекою та пропускну здатністю). Їх проектують різних розмірів для певних цілей та умов функціонування.

Детальний контроль всіх параметрів перехрестя з круговим рухом дозволить в повній мірі оцінити його експлуатаційні, безпекові та екологічні показники, визначити слабкі місця та своєчасно запровадити альтернативні варіанти підвищення ефективності.

У статті наведено узагальнені результати досліджень геометричного дизайну, інтенсивності, пропускну здатності та безпечності перехрестя з круговим рухом міста Дубно Рівненської області, яке введено в експлуатацію у 2019 році.

Метою цього дослідження є визначення ефективності функціонування та безпечності перехрестя з круговим рухом та збору необхідних даних для побудови математичної моделі з моделюванням дорожньої ситуації для різних варіантів проїзду такого перехрестя.

Ключові слова: перехрестя з круговим рухом, транспортний потік, інтенсивність, пропускну здатність, безпечність, геометрія.

ВСТУП

Автомобільні дороги є надзвичайно важливими для економічного розвитку України і всього світу. Перехрестя доріг є критичним місцем дорожньої мережі з точки зору пропускну здатності, рівня обслуговування та безпеки [1]. Вони є місцем, де протилежні транспортні потоки постійно змінюються і, тим самим змінюють дорожню ситуацію [2, 3].

Перехрестя з круговим рухом, які зазвичай називають «транспортними колами», широко використовуються у всіх частинах світу. В Україні, хоча вони вже і давно, але стали поширені вже тепер (розглядаються як альтернатива регульованим перехрестям). Транспортний потік такого перехрестя характеризується режимом пріоритетного перерозподілу, в якому транспортний засіб, що рухається колом, має переважне право проїзду. Транспортні засоби на перехрестях повинні дочекатися прийняттого інтервалу, а потім в'їхати, проїхати колом і виїхати з перехрестя на відповідному з'їзді [4].

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Актуальність окресленої тематики підтверджується безліччю наукових праць, які дають оцінку функціонуванню транспортних розв'язок, їх геометричної конфігурації, досліджують безпеку руху, проводять аналіз аварійності.

У наукових працях [4, 5] досліджується вплив геометричного дизайну перехрестя з круговим рухом на його безпечність. У дослідженнях [2, 6] визначається пропускну здатність перехрестя з круговим рухом, а також тривалість транспортних затримок на з'їзді та надаються практичні рекомендації.

В цілому, враховуючи, що перехрестя з круговим рухом проектується для певних цілей і умов функціонування, всі вони потребують перевірки часом з метою покращення ефективності і підвищення безпечності.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Сучасні перехрестя з круговим рухом розглядаються як альтернатива регульованим перехрестям завдяки багатьом перевагам, які вони надають.

Дослідження основних причини, за якими рекомендують сучасні перехрестя з круговим рухом: збільшення пропускну здатності, підвищення безпеки, покращення експлуатації, зручність для життя

громади, заспокоєння дорожнього руху, сучасний естетичний вигляд (геометричний дизайн) перехрестя є підґрунтям для подальшого аналізу щодо моделювання дорожніх умов з прогнозними змінами розвитку автомобілізації на перспективу в 5-10 років, соціально-економічної ефективності запропонованих рішень, оцінки відповідності заявленим вимогам.

Виконання таких досліджень потребує введено в експлуатацію у 2019 році перехрестя з круговим рухом в місті Дубно Рівненської області.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Правила дорожнього руху України визначають перехрестя, як «місце перехрещення, прилягання або розгалуження доріг на одному рівні, межею якого є уявні лінії між початком заокруглень країв проїзної частини кожної з доріг» [7]. В загальному розрізняють перехрестя без пріоритету (водії, які рухаються праворуч, мають переважне право проїзду) та з пріоритетом, де право проїзду регулюється дорожніми знаками, дорожньою розміткою, світлофорним регулюванням.

Перехрестя з круговим рухом (англ. «traffic circle») – це місце, де з'єднуються три або більше доріг, і на місці їх перетину організовано круговий рух [8].

Сучасне перехрестя з круговим рухом – це перехрестя, де водії рухаються проти годинникової стрілки навколо центрального острівця (в більшості випадків на ньому немає світлофорів). Водії поступаються дорогою при в'їзді на це перехрестя, потім в'їжджають на нього і виїжджають у потрібному напрямку.

Виділимо основні принципи для сучасних перехрестя з круговим рухом (рис. 3.1):

1) Контроль переваги в русі на всіх точках в'їзду – всі транспортні засоби, що наближаються, зобов'язані поступатися дорогою транспортним засобам, що рухаються круговою проїзною частиною, перш ніж в'їхати на перехрестя. Знаки «Дати дорогу» використовуються в першу чергу для контролю в'їзду.

2) Відхилення руху – транспортні засоби, що в'їжджають, спрямовуються праворуч через канали або острівці-розділювачі на циркулюючу (кругову) проїзну частину кільця з об'їздом центрального острівця. В'їзд на перехрестя по прямій не дозволяється.

3) Геометрична кривизна – конструкція в'їзду та радіус кругової проїзної частини перехрестя проектується таким чином, щоб уповільнити швидкість в'їзду та круговий руху транспорту.

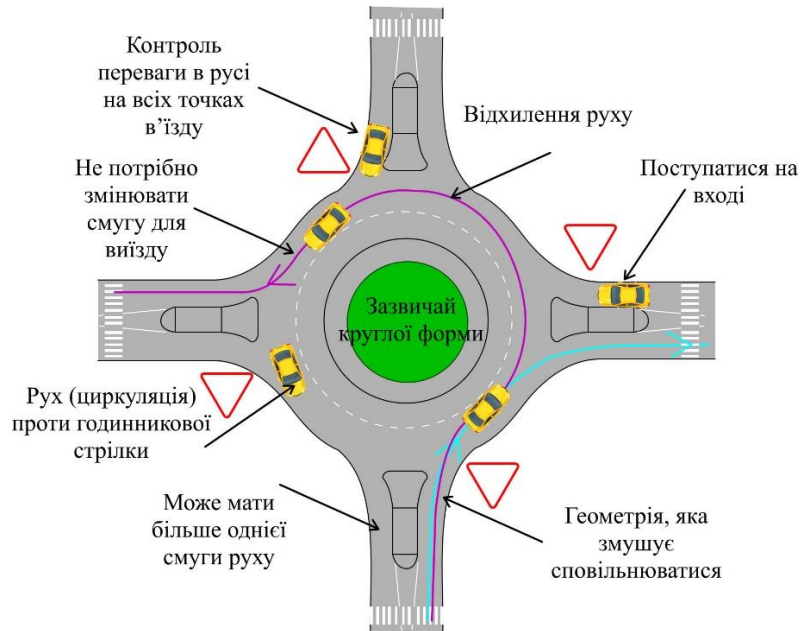


Рисунок 1 – Основні характеристики сучасного кільцевого перехрестя

Широке використання перехрестя з круговим рухом (регулюються за принципом «дати дорогу при в'їзді») розпочалося з середини 1960-х років британськими інженерами з метою подолання обмежень пропускної здатності та з міркувань питань безпеки [9]. «Магічне кільце» у Свіндоні (Великобританія) спроектоване інженером дорожнього руху Френком Блекмором як масивна кільцева розв'язка, яка на перший погляд може здатися хаосом, але за нею стоїть клопітке планування [10]. Вона складається з п'яти менших перехрестя, що обертаються за годинниковою

стрілкою, одного центрального перехрестя, що обертається проти годинникової стрілки, і загального кола всієї конструкції (рис. 2).

Починаючи з 2000 року в Україні активно розробляється і впроваджується нормативно-правове забезпечення, стандарти, галузеві будівельні норми щодо організації вулично-дорожньої мережі, транспортних розв'язок, перехрещення та примикання автомобільних доріг тощо.



Рисунок 2 – «Магічне кільце» у Свіндоні [10]

У 2017 році Верховна Рада ввела єдині правила перетину перехрестя з круговим рухом. Ентузіазм щодо безпеки та високої пропускної здатності перехресть з круговим рухом призвів до суттєвого збільшення їх кількості. І навпаки, коли зростаючий попит на транспортні послуги призводить до того, що існуючі перехрестя вже не справляються з поставленою задачею, тоді їх перетворюють на інші типи.

Важливим експлуатаційним фактором сучасного перехрестя є його пропускна здатність (рис. 3). Наразі спостерігається глобальна автомобілізація населення, відчувається постійне збільшення кількості транспортних засобів, і це відчутно в кожному місті і містечку, тому проектування перехресть повинно враховувати всі тенденції розвитку транспортної інфраструктури на перспективу 10-15 років.

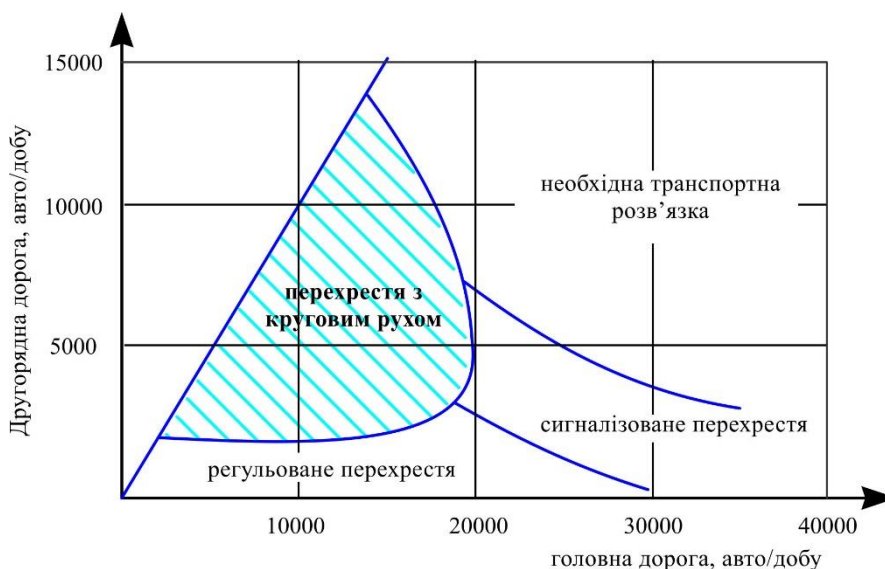


Рисунок 3 – Вибір типу перехрестя відповідно до попиту на транспортні послуги [11]

Перехрестя проектуються різних розмірів для певних цілей і умов функціонування. Зазвичай розрізняють різні типи перехресть з круговим рухом відповідно до їхнього розміру (вимірюється вписаним діаметром) та інтенсивністю транспортного потоку (рис. 4).

Геометричний дизайн кільцевих перехресть – це поєднання балансу експлуатаційних характеристик і пропускної здатності з підвищенням рівня безпеки. Рух в'їзду на кожен смугу на

кільцевому перехресті має вирішальне значення для його загального дизайну. Геометрія перехрестя не завжди однакова, кожне перехрестя має свої особливості і вимагає окремого проектування.

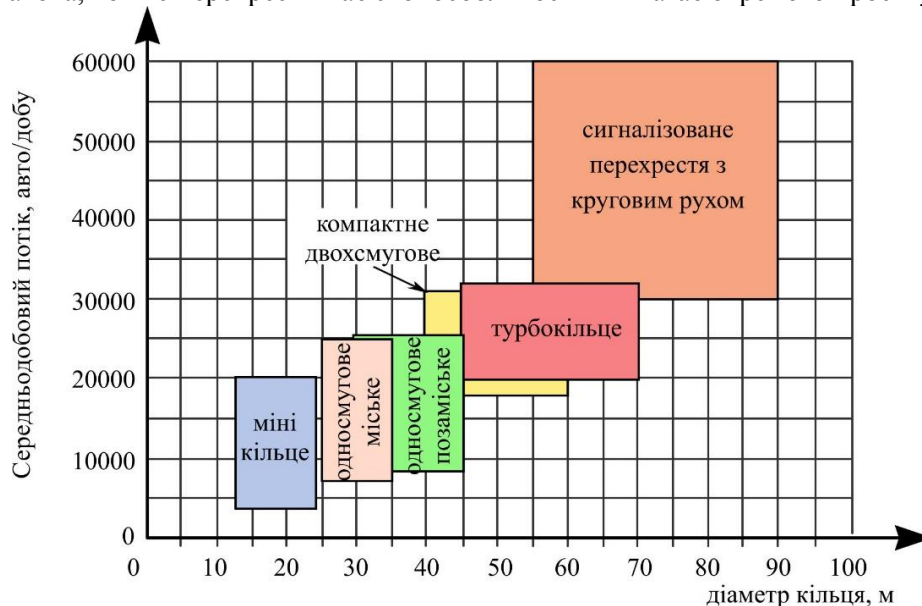


Рисунок 4 – Визначення типу перехрестя з круговим рухом за діаметром кільця та середньодобовою інтенсивністю руху [12]

Місто Дубно (Рівненська область, Україна) – невеличке містечко із специфічною транспортною мережею, для перетину вулично-дорожньої мережі облаштовано класичні перехрестя різного типу. Натурні спостереження за основними вулицями магістрального і загальноміського значення показали, що у місті Дубно нараховується 95 перехресть нерегульованого та 3 перехрестя з регульованим рухом, більшість з яких «Т(У)-подібного» типу, а також ізюминка міста – перехрестя з круговим рухом (рис. 5).

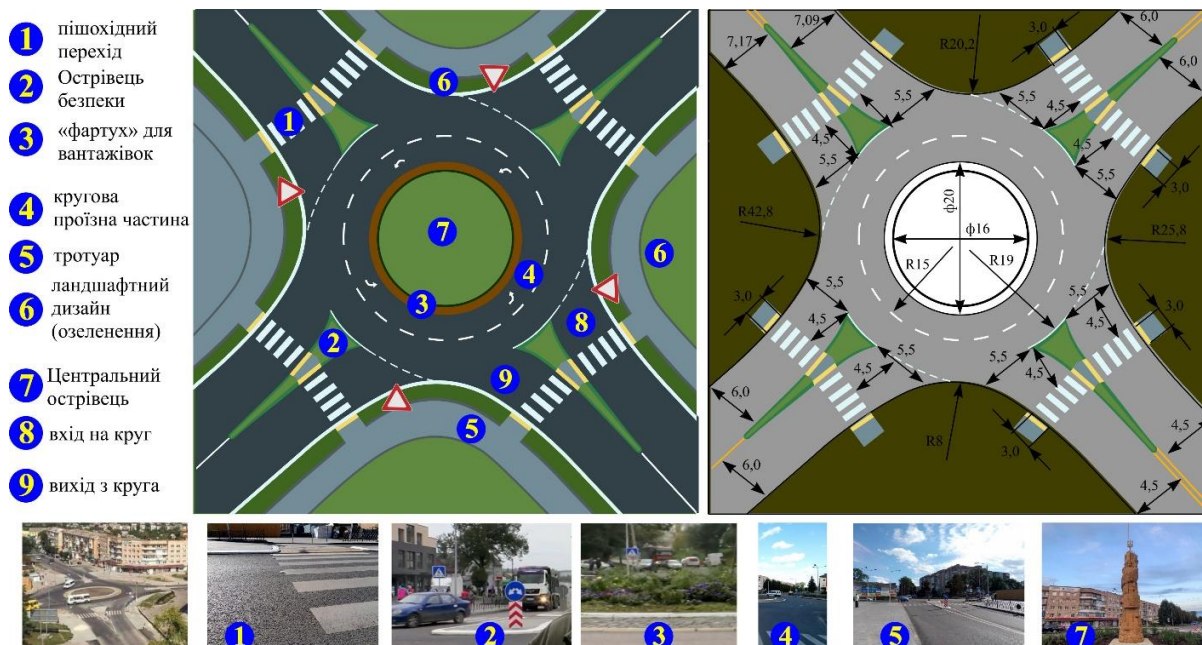


Рисунок 5 – Планувальні особливості перехрестя з круговим рухом в м. Дубно Рівненської області

Починаючи з 2016 року в місті Дубно починають активно реалізуватися різні проєкти, які направлені на модернізацію дорожньої мережі, перехрестя, облаштування велосипедних доріжок, вдосконалення транспортної та комунікаційної інфраструктури. Міський голова міста Дубно Василь

Антонюк пояснив, що «пропускна спроможність цього перехрестя невдовзі буде вичерпана, а його експлуатаційні показники не відповідають вимогам існуючої та прогнозованої інтенсивності руху, а така ситуація небезпечна і може призвести до зростання чисельності дорожньо-транспортних пригод... (на цьому перехресті найчастіше трапляються дорожні пригоди, пов'язані в основному з порушенням правил дорожнього руху пішоходами)» [13].

Першочерговим фактором при визначенні проекту перехрестя з круговим рухом є вибір найбільшого транспортного засобу, який буде користуватися даним об'єктом. Вимоги до траєкторії розвороту безпосередньо впливають на багато параметрів кільцевого перехрестя (діаметр вписаного кола, вирівнювання на під'їзді тощо). Належне врахування розрахункового транспортного засобу залежить від наступних критеріїв: класифікація дороги; бачення місцевих органів влади; характеристики навколишнього середовища. Для міста Дубно перехрестя з круговим рухом розраховане на великогабаритні транспортні засоби, найбільша довжина яких складає не більше 22 метри і під час проїзду він буде займати дві смуги одночасно (рис. 6).

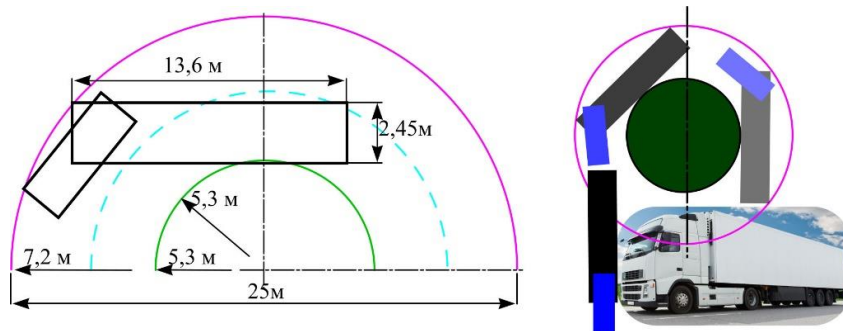


Рисунок 6 – Розрахункова схема габаритної смуги руху для вантажних транспортних засобів

Пропускна здатність перехрестя з круговим рухом, загалом, визначається як максимальна стійка кількість транспортних засобів, які можуть поїхати ділянку за певний проміжок часу за існуючих умов. Для перехрестя з круговим рухом це означає, що кожен підхід має свою пропускну здатність для в'їзду транспортних засобів, що перетинають лінію розмежування. Пропускна здатність є динамічною за своєю природою через постійну зміну складу транспортного потоку (чергування легкових, і вантажних транспортних засобів, мотоциклів або велосипедистів), габаритні розміри самих транспортних засобів, стилю водіння автомобіля, погодні умови, часовий період доби тощо. Вона визначається для кожного в'їзду, а не для всього перехрестя.

Для оцінки пропускну здатності в'їзду на перехрестя з круговим рухом міста Дубно проводилися натурні спостереження за інтенсивністю, складом руху та розподілом транспортних потоків за всіма напрямками (їх чотири) в пікові години – 8:00-9:00 год та 16:00-17:00 год. (характеризуються трудовою міграцією містян) у літній період з 10-30 липня 2023 року.

Встановлено, що найбільша кількість транспортних засобів за всіма напрямками складають саме легкові автомобілів від 82 до 87 %, що цілком прогнозовано для умов міста (рис. 7).

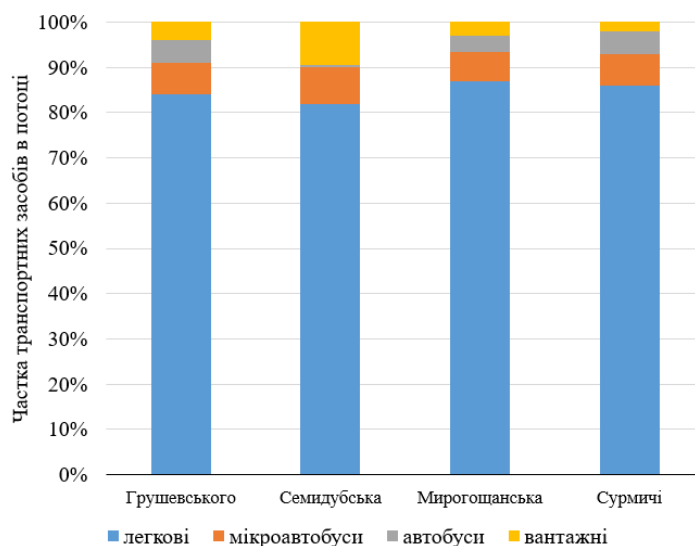


Рисунок 7 – Відсотковий розподіл транспортних засобів на етапах в'їзду на перехрестя з круговим рухом міста Дубно

Найбільший транспортний потік складає для напрямку за вулицями Грушевського та Сурмичі, оскільки це головний магістральний шлях, через який проходять переважна більшість автомобілів і диктується містобудівною особливістю дорожньої мережі міста Дубно (рис. 8).

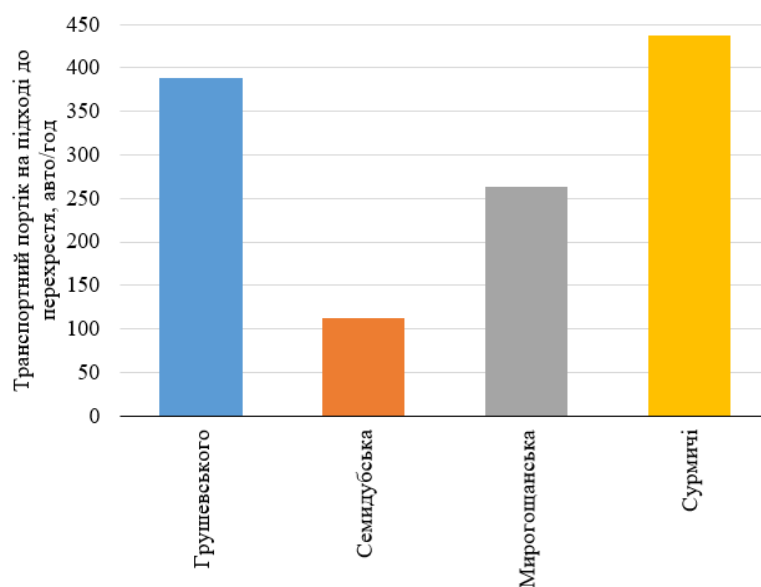


Рисунок 8 – Розподіл кількості транспортних засобів за напрямками на вході перехрестя з круговим рухом міста Дубно

Розрахункова максимальна пропускна здатність в'їзду на кільце складає 1323 авто/год., а рівень його теперішнього завантаження складає 34%.

Узагальнимо отримані результати дослідження безпечності обраного перехрестя з круговим рухом (рис. 9).



Рисунок 9 – Результати досліджень безпечності перехрестя з круговим рухом м. Дубно: а – ступінь складності перехрестя; б – загальний рівень небезпеки за конфліктними точками; в – річна імовірна кількість дорожньо-транспортних пригод; г – загальна безпечність руху

Проаналізувавши статистичні дані щодо ДТП починаючи з 2018 року на перехресті з круговим рухом в місті Дубно, можемо стверджувати, що найбільш імовірна кількість ДТП виникає саме на виході з круга – 41%.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Перехрестя з круговим рухом – це один з декількох типів перехресть, на яких рух сповільнюється і перетворюється на односторонній потік навколо центрального острівця, їх також називають «сучасними» кільцевими розв'язками».

Вони проектуються різних розмірів для певних цілей і умов функціонування. Кожне таке перехрестя має власні визначальні характеристики, які можуть впливати на його безпечність та зручність проїзду, однак потребують ретельного планування, в тому числі і на перспективу.

Важливою характеристикою перехрестя з круговим рухом є інтенсивність руху транспорту (хоча чим більше транспортних засобів проїжджає, тим краще, але водночас підвищується ризик аварійності).

Згідно проведених досліджень запроєктоване перехрестя в місті Дубно є простим за організацією складності перетину і цілком безпечне.

Дослідження, про яке повідомляється в цій статті, проводилося в Національному університеті водного господарства та природокористування за підтримкою управління економіки і власності Дубенської міської ради.

ВИСНОВКИ

Таким чином, згідно проведених досліджень перехрестя в місті Дубно, яке введене в експлуатацію у 2018 році, є простим за організацією складності перетину і цілком безпечне, однак потребує уточнення даних для побудови математичної моделі що описує пропускну здатність перехрестя з круговим рухом з його прогнозованою безпечністю, а також підвищення ефективності функціонування з поглядом необхідних змін до геометричної побудови.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Pan B.; Liu S., Xie Z., Shao Y., Li X., Ge R. Evaluating Operational Features of Three Unconventional Intersections under Heavy Traffic Based on CRITIC Method, *Sustainability*. 2021. 13(8), 4098. Режим доступу : <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/8/4098/pdf>.
2. Поstrанський Т. М., Афонін М. О., Бойків М. В. Вплив проектованої схеми організації кругового руху на нерегульованому перехресті міських вулиць на тривалість транспортної затримки. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. Луцьк. 2020. №2 (15), С. 99–105. Режим доступу : <https://doi.org/10.36910/automash.v2i15.397>.
3. Stevanovic A., Mitrovic N. Traffic microsimulation for flexible utilization of urban roadways. *Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board*, 2019. 2673(10), pp. 92–104. Режим доступу : <https://doi.org/10.1177/0361198119848407>.
4. Pratelli A. Design of modern roundabouts in urban traffic systems. *WIT Transactions on The Built Environment*, WIT Press. 2006. Vol. 89. P. 83-93.
5. Аhac S.; Dragčević V. Geometric Design of Suburban Roundabouts. *Encyclopedia* 2021, 1, 720–743. Режим доступу : <https://doi.org/10.3390/encyclopedia1030056>.

6. Wonho Suh, Jung In Kim, Hyunmyung Kim, Joonho Ko, and Young-Joo Lee. Mathematical Analysis for Roundabout Capacity. *Hindawi. Mathematical Problems in Engineering*. 2019. Volume 2018, 8 p. Режим доступу : <https://doi.org/10.1155/2018/4310894>.
7. Фоменко О., Рациборинський Б., Гусар В. Правила дорожнього руху України 2023. Коментар в малюнках. Київ. Укрспецвидав. 2023. 112 с.
8. Правила проїзду кругового руху в Україні. Автошкола Проспект : веб-сайт. Режим доступу : <https://avtoshkola.dp.ua/uk/pravila-proyizdu-krugovogo-ruhu-v-ukrayini/>.
9. Pumphrey, C. How Roundabouts Work. HowStuffWorks : веб-сайт. Режим доступу : <https://science.howstuffworks.com/engineering/civil/roundabouts1.htm> [Accessed: 15 March 2023]
10. Hassiotis C. See the Swirling Glory of Britain's 7-Circle Magic Roundabout. MapQuest Travel : веб-сайт. Режим доступу: <https://www.mapquest.com/travel/destinations/road-trips/swindon-magic-roundabout-7-circles.htm>.
11. Hatice G. Demir, Yusuf K. Demir. A Comparison of Traffic Flow Performance of Roundabouts and Signalized Intersections: A Case Study in Nigde. *The Open Transportation Journal*. 2020. P. 120-132. Режим доступу: <https://opentransportationjournal.com/contents/volumes/V14/TOTJ-14-120/TOTJ-14-120.pdf>.
12. Brilon W. Roundabouts : A State of the Art in Germany. Paper presented at the 3 International Conference on Roundabouts, Carmel, Indiana, 2011). Режим доступу: https://www.ruhr-uni-bochum.de/verkehrswesen/download/literatur/Brilon_Seattle_TRB_2014.pdf.
13. У місті очікуються грандіозні зміни на майже 12 мільйонів. Інформаційний портал Дубно : веб-сайт. Режим доступу : <https://03656.com.ua/u-misti-ochikuyutsya-grandiozni-zmini-na-mayzhe-12-milyoniv/>.

REFERENCES

1. Pan, B.; Liu, S., Xie, Z., Shao, Y., Li, X. & Ge, R. (2021). Evaluating Operational Features of Three Unconventional Intersections under Heavy Traffic Based on CRITIC Method. *Sustainability*. 2021. 13(8), 4098. Available at : <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/8/4098/pdf>.
2. Postransky, T., Afonin, M. & Boikov, M. (2020). Influence of the roundabout traffic scheme project instead of the unregulated intersection of city streets on the transport delay duration. *Advances in mechanical engineering and transport*, 2(15), pp. 99–105. Available at : <https://doi.org/10.36910/automash.v2i15.397> (in Ukrainian).
3. Stevanovic, A. & Mitrovic, N. (2019). Traffic microsimulation for flexible utilization of urban roadways. Transportation Research Record : *Journal of the Transportation Research Board*, 2673(10), pp. 92–104. Available at : <https://doi.org/10.1177/0361198119848407>.
4. Pratelli, A. (2006). Design of modern roundabouts in urban traffic systems. *WIT Transactions on The Built Environment*, WIT Press. Vol. 89. P. 83-93.
5. Ahac, S.; Dragčević, V. (2021). Geometric Design of Suburban Roundabouts. *Encyclopedia*, 1, 720–743. Available at : <https://doi.org/10.3390/encyclopedia1030056>.
6. Wonho, S, Jung In Kim, Hyunmyung, K., Joonho Ko & Young-Joo Lee. (2018). Mathematical Analysis for Roundabout Capacity. *Hindawi. Mathematical Problems in Engineering*. Vol. 2018, Article ID 4310894, 8 p. Available at : <https://doi.org/10.1155/2018/4310894>.
7. Fomenko, O. Y., Ratsiborynsky, B. L. & Gusar, V. E. (2023). *Traffic Rules of Ukraine*. Ukrspetsvydav publishing house. ISBN 978-617-8110-10-9 (in Ukrainian).
8. Rules for passing circular traffic in Ukraine, [online]. Available at : <https://avtoshkola.dp.ua/uk/pravila-proyizdu-krugovogo-ruhu-v-ukrayini/> (in Ukrainian).
9. Pumphrey, C. How Roundabouts Work, [online]. Available at : <https://science.howstuffworks.com/engineering/civil/roundabouts1.htm>.
10. Hassiotis, C. See the Swirling Glory of Britain's 7-Circle Magic Roundabout, [online]. Available at : <https://www.mapquest.com/travel/destinations/road-trips/swindon-magic-roundabout-7-circles.htm>.
11. Hatice, G. Demir & Yusuf K. Demir. (2020). A Comparison of Traffic Flow Performance of Roundabouts and Signalized Intersections: A Case Study in Nigde. *The Open Transportation Journal*. P. 120-132. Available at : <https://opentransportationjournal.com/contents/volumes/V14/TOTJ-14-120/TOTJ-14-120.pdf>.
12. Brilon, W. (2011). Roundabouts : A State of the Art in Germany. Paper presented at the 3 International Conference on Roundabouts, Carmel, Indiana, 2011). Available at : https://www.ruhr-uni-bochum.de/verkehrswesen/download/literatur/Brilon_Seattle_TRB_2014.pdf.

13. In the city, grandiose changes of almost 12 million are expected, [online]. Available at : <https://03656.com.ua/u-misti-ochikuyutsya-grandiozni-zmini-na-mayzhe-12-milyoniv/> (in Ukrainian).

I. Khitrov. Evaluation of the efficiency of a roundabout

Roundabouts are a popular solution for traffic interchanges. Their number is growing every year, mainly for reasons of safety and high quality of service for all road users.

Currently, there is a global motorization of the population, there is a constant increase in the number of vehicles, and this is typical for every city and town. Therefore, the design of roundabouts should take into account all trends in the development of transport infrastructure and population demographics, and should be constantly monitored.

Each intersection has its own defining characteristics that can affect its safety and ease of use, but require a careful approach for specific road conditions (often finding the right balance between safety and capacity). They are designed in different sizes for specific purposes and operating conditions.

Detailed control of all parameters of a roundabout will allow to fully assess its operational, safety and environmental performance, identify weaknesses and timely introduce alternative options for improving efficiency.

The article summarizes the results of research on the geometric design, intensity, capacity and safety of a roundabout in Dubno, Rivne region, which was put into operation in 2019.

The purpose of this study is to determine the efficiency and safety of a roundabout and collect the necessary data to build a mathematical model with traffic simulation for different options for passing such an intersection.

Key words: roundabout, traffic flow, intensity, capacity, safety, geometry.

ХИТРОВ Ігор Олександрович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортних технологій і технічного сервісу, Національний університет водного господарства та природокористування, e-mail: i.o.khitrov@nuwm.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0003-2310-1472>.

Ihor KHITROV, PhD, Associate Professor of the Transport Technology and Technical Service Department, National University of Water and Environmental Engineering, e-mail: i.o.khitrov@nuwm.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0003-2310-1472>.

DOI 10.36910/automash.v2i21.1228

