

УДК: 656.13

**Є.В. Любий, О.С. Левченко, М.С. Сиромятнікова**  
**АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МІНІ-КІЛЬЦЕВИХ РОЗВ'ЯЗОК**

*У статті представлено результати проведеного аналізу ефективності використання міні-кільцевих розв'язок для підвищення рівня безпеки дорожнього руху на вулично-дорожній мережі міст. Проаналізовані основні критерії, що використовуються для оцінювання ефективності функціонування міні-кільцевих розв'язок, до яких відносяться пропускна здатність розв'язки, величина транспортних затримок на розв'язці, рівень аварійності та рівень обслуговування. Детально розглянуті існуючі сучасні підходи щодо визначення пропускної здатності кільцевих розв'язок.*

*Ключові слова:* організація дорожнього руху, безпека дорожнього руху, міні-кільцеві розв'язки, ефективність, пропускна здатність.

**Е.В. Любий, Е.С. Левченко, М.С. Сыромятникова**  
*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет*  
**АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНИ-КОЛЬЦЕВЫХ РАЗВЯЗОК**

*В статье представлены результаты проведенного анализа эффективности использования мини-кольцевых развязок для повышения уровня безопасности дорожного движения на улично-дорожной сети городов. Проанализированы основные критерии, используемые для оценки эффективности функционирования мини-кольцевых развязок, к которым относятся пропускная способность развязки, величина транспортных задержек на развязке, уровень аварийности и уровень обслуживания. Подробно рассмотрены существующие современные подходы к определению пропускной способности кольцевых развязок.*

*Ключевые слова:* организация дорожного движения, безопасность дорожного движения, мини-кольцевые развязки, эффективность, пропускная способность.

**E.V. Liubiy, O.S. Levchenko, M.S. Syromyatnikova**  
**ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF THE USE OF MINI-ROUNDAABOUT**

*The results of the conducted analysis of mini-roundabout efficiency to increase the road safety in city street and road network are presented in the article. The main criteria used to estimate the mini-roundabout efficiency in particular traffic capacity of roundabouts, the size of transport delays at roundabouts, accident rate and service level have been analyzed. Current classifications of roundabouts and modern approaches to determine their traffic capacity have been studied in detail. Existing regulatory documents with standards and conditions of roundabout use in city street and road network have been analyzed.*

*Keywords:* traffic management, road safety, roundabouts, efficiency, capacity.

**Постановка проблеми.** Сучасні світові тенденції щодо зростання рівня автомобілізації та інтенсивності руху транспортних потоків призводять до такого негативного явища як збільшення кількості дорожньо-транспортних пригод (ДТП) та їх наслідків. Результати прогнозу експертів Всесвітньої організації охорони здоров'я свідчать про те, що вже в 2030 році ДТП можуть стати однією з основних п'яти причин смертності людей у світі [1].

За даними [2, 3] рівень смертності та травматизму від ДТП в Україні є одним із найвищих в Європі, а рівень організації та безпеки дорожнього руху – дуже низьким. На думку світових експертів основними причинами виникнення ДТП в Україні є людський фактор (перевищення швидкості водіями, порушення правил проїзду перехресть, керування транспортними засобами у стані алкогольного сп'яніння та ін.), неналежна облаштованість існуючої транспортної інфраструктури (пішохідних переходів, розв'язок, ділянок вулично-дорожньої мережі) та неякісне проектування нових інфраструктурних об'єктів.

Безумовно, більшість ДТП виникають з вини учасників дорожнього руху [4], але слід відзначити наявність ДТП зі смертельними наслідками з причин незадовільного облаштування об'єктів транспортної інфраструктури (відсутність освітлення, розмітки, знаків, інформаційних табло тощо).

Українська влада ставить за мету вже в найближчому майбутньому, до 2020 року, зменшити рівень смертності внаслідок ДТП щонайменше на 30 %, ступеня тяжкості наслідків ДТП для учасників дорожнього руху та зменшення соціально-економічних втрат від дорожньо-транспортного травматизму [1]. В Україні в цьому році розпочинається реалізація Програми підвищення безпеки дорожнього руху [5], що включає плани по будівництву 500 нових кільцевих розв'язок, 500 острівців безпеки та 1000 пішохідних переходів, на яку планують виділити майже 7,7 млрд. грн.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В практиці організації дорожнього руху на автомобільних дорогах одним з найефективніших заходів щодо зменшення кількості ДТП та негативних наслідків від них є організація кільцевих розв'язок [6-9], внаслідок зменшення кількості конфліктних точок і зниження швидкості руху транспортних засобів на такого типу розв'язках.

У відповідності з існуючою класифікацією за розміром центрального острівця кільці розв'язки поділяються на [10]: великі (діаметр > 60 м), середні (діаметр від 18 м до 60 м), малі (діаметр від 4 м до 18 м) та міні (діаметр від 2,5 м до 4 м). Умови введення кільцевих розв'язок різного типу наведені в таблиці 1.

Таблиця 1.

## Умови влаштування кільцевих розв'язок

Тип кільцевої розв'язки	Умови влаштування
Великі	Інтенсивність руху транспортних засобів більше 5000 авт./добу Не менше 40 % основного потоку лівоповоротні потоки
Середні та малі	Інтенсивність руху транспортних засобів до 5000 авт./добу Інтенсивність руху транспортних засобів більше 5000 авт./добу у випадку обмеженого простору і відповідного обґрунтування та у населених пунктах
Міні	Швидкість руху обмежена до 50 км./год. Населені пункти та приміська зона Інтенсивність руху транспортних засобів до 2000 авт./добу Видимість кільця у напрямку руху

В Україні питання проектування кільцевих розв'язок регламентуються декількома діючими нормативними документами, основними з яких є [10-12]. Станом на 21.07.2017 року під егідою Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України вже розроблено проект ДБН В.2.3-5:2017 «Вулиці та дороги населених пунктів» [13], в якому наведені зміни щодо норм і умов проектування основних елементів кільцевих розв'язок. Також для влаштування кільцевих розв'язок інженери-проектувальники транспортної інфраструктури використовують рекомендації «Road Safety Manual. Recommendations from the World Road Association, 2003».

В свою чергу, документом, що регулює правила проїзду кільцевих розв'язок автотранспортними засобами є Закон України «Про дорожній рух» та Правила дорожнього руху України. У відповідності з Законом України «Про дорожній рух» перевага в русі на перехрестях, де організовано круговий рух, надається транспортним засобам, які вже рухаються по колу.

Слід відзначити, що в нормативній літературі країн Європейського союзу, США та Канади відсутні вимоги до геометрії кільцевих розв'язок, при цьому, особлива увага приділяється моделюванню транспортних потоків, дослідженню режимів руху та пропускної здатності на розв'язках, а також впливу нових дорожніх об'єктів на існуючі [14].

Положення діючих російських нормативних документах [15, 16] свідчать про те, що в залежності від розмірів, складу та розподілу руху по напрямкам, а також від місцевих умов необхідно застосовувати різноманітні схеми розв'язок у різних рівнях.

Особливу цінність з точки зору вивченості проблеми дослідження кільцевих розв'язок має англійська нормативна документація [17], оскільки в ній приділяється особлива увага геометрії зон злиття, розгалуження і переплетіння.

**Постановка завдань.** Метою даної роботи є проведення аналізу світового досвіду щодо використання міні-кільцевих розв'язок для підвищення рівня безпеки дорожнього руху на вулично-дорожній мережі міст, а також основних критеріїв, що використовуються для оцінювання ефективності функціонування міні-кільцевих розв'язок.

**Викладення основного матеріалу.** Однозначно можна стверджувати, що в останні десятиріччя у закордонній практиці організації безпечного руху транспорту переважно на міській вулично-дорожній мережі особливої популярності набуло використання міні-кільцевих розв'язок (roundabouts) [6, 18, 19].

Під міні-кільцевою розв'язкою найчастіше розуміють кільцеву розв'язку з визначеними геометричними параметрами та формою організації пропуску транспортних потоків, до яких

відносять: знаки «Поступитися дорогою» на входах на кільце; радіуси кільцевої проїжджої частини, безпосередні входи на кільцеву проїжджу частину та виходи з неї, підходи до перетину, що не дозволяють розвивати швидкість більш 50 км./год.; обов'язкове каналізування транспортних потоків на підходах до кільця [6, 18-21].

Досвід впровадження міні-кільцевих розв'язок в зарубіжних країнах свідчить про значне їхнє поширення та розповсюдження. Причиною популярності таких розв'язок у закордонних спеціалістів є дуже висока ефективність сучасних кільцевих переходів як засобів забезпечення безпеки руху – зниження аварійності становить, близько 40 - 80 %. При цьому одним із компонентів зниження рівня аварійності є безпека руху пішоходів [6].

За даними (<https://www.fhwa.dot.gov/>) в 2000 році в США проведено дослідження рівня аварійності на 24 перехрестях, які були переобладнані в кільцеві розв'язки, результати якого свідчать про скорочення загальної кількості ДТП на 39 %, а кількості ДТП з пораненими на 76 %. Результати обстежень 15 міні-кільцевих в 2002 р. у штаті Меріленд підтвердили ефективність використання розв'язок такого типу: скорочення кількості ДТП на 60 %, скорочення кількості ДТП з пораненими – 82 %, не зафіксовано жодного ДТП із загиблими.

Дослідження спеціалістів Oregon State University також свідчать про високу ефективність використання міні-кільцевих: скорочення кількості ДТП – 51 %, скорочення кількості ДТП з пораненими – 73 %, кількість наїздів на пішоходів із розрахунку на 1 млн. автомобілів, що пройшли через міні-кільце – 0,31 [6]. Дані Insurance Institute for Highway Safety (<http://www.iihs.org/>) свідчать, що, в цілому, в американській практиці використання міні-кільцевих розв'язок дають скорочення: кількості ДТП із загиблими – 90 %, кількості ДТП із пораненими – 76 %, кількості ДТП за участі пішоходів – 30 % - 40 %, кількості ДТП за участі велосипедистів – 10 % [20].

Ефективний досвід використання міні-кільцевих розв'язок в особливих кліматичних умовах (експлуатація взимку, вимоги очищення снігу) мають спеціалісти штату Аляска та їхні канадські колеги [21].

Австралійський досвід переобладнання 230 перехресть у кільцеві розв'язки також підтверджує достатньо високу ефективність їхнього застосування для підвищення рівня безпеки дорожнього руху: скорочення середньої кількості ДТП на одному перехресті за рік – 41 %, скорочення кількості ДТП із постраждалими на одному перехресті за рік – 45 %, скорочення середньої кількості загиблих на одному перехресті за рік – 63 %. Слід також відзначити достатньо високу ефективність застосування міні-кільцевих розв'язок на прикладі європейських країн (таблиця 2) [6].

Таблиця 2.

### Ефективність впровадження міні-кільцевих розв'язок в країнах Європи

Країна	Показники
Бельгія	Середня кількість ДТП з постраждалими та середня кількість ДТП високої тяжкості на одному перехресті за рік скоротилася на 45 % і 48 %, відповідно.
Великобританія	Середня кількість ДТП на кільцевій розв'язці за рік 1,77, з них 7 % з постраждалими та загиблими. Зниження аварійності на 46,5 %.
Нідерланди	Середня кількість ДТП та середня кількість постраждалих на одному перехресті за рік скоротилася на 51 % і 72 %, відповідно.
Німеччина	Середня кількість ДТП на 1 млн. автомобілів, що проїхали через перехрестя, скоротилася на 29 %.
Франція	Середня кількість ДТП з постраждалими, середня кількість постраждалих і середня кількість загиблих на одному перехресті за рік скоротилася на 78 %, 82 % і 88 %, відповідно.
Норвегія, Швеція, Швейцарія	Зростання кількості кільцевих розв'язок. Скорочення загальної кількості ДТП за рахунок переобладнання звичайних перехресть на міні-кільцеві розв'язки.

На даний час відсутні критерії оцінювання ефективності саме міні-кільцевих розв'язок, а для їх оцінки використовуються критерії для звичайних кільцевих розв'язок. За результатами аналізу літературних джерел встановлено, що основними критеріями ефективності функціонування

кільцевих розв'язок є: пропускна здатність розв'язки, величина транспортних затримок на розв'язці, рівень аварійності та рівень обслуговування (LOS - Level of Service) [22].

Слід відзначити відмінність вітчизняних і закордонних підходів щодо визначення пропускної здатності кільцевих розв'язок. У відповідності до ДБН [11, 13] пропускна здатність кільцевої розв'язки визначається на основі встановленої пропускної здатності ділянок перестроювання. Основною відмінністю іноземних підходів щодо визначення пропускної здатності є той факт, що в них як основний показник прийнята пропускна здатність на вході (в'їзді) або виході (виїзді) з розв'язки.

В загальному випадку для оцінювання пропускної здатності кільцевих розв'язок російські спеціалісти використовують [23]. Відповідно [16] для попереднього оцінювання пропускної здатності в'їзду на кільцеву розв'язку рекомендовано використовувати наступну залежність [24]

$$P_{вх} = \frac{[1500 - \frac{8}{9}(\beta \cdot N_k + \alpha \cdot N_{вих})]}{y}, \quad (1)$$

де  $N_k$  – інтенсивність руху на кільцевій проїжджій частині перед ділянкою виїзду, авт./год.;  $N_{вих}$  – інтенсивність на ділянці виїзду, авт./год.;  $\beta$  – коефіцієнт, що враховує кількість смуг руху на кільцевій проїжджій частині;  $\alpha$  – коефіцієнт, що враховує умови руху на кільцевій проїжджій частині;  $y$  – коефіцієнт, що враховує вплив кількості смуг на вході.

Обмеженим можна вважати американський досвід визначення пропускної здатності, оскільки в [25] розглядається приклад її розрахунку для кільцевої розв'язки з односмуговими підходами. Пропускна здатність входу на розв'язку визначається як

$$c_a = \frac{N_c \cdot e^{-\frac{N_c \cdot t_c}{3600}}}{1 - e^{-\frac{N_c \cdot t_f}{3600}}}, \quad (2)$$

де  $N_c$  – інтенсивність руху на кільці, авт./год.;  $t_c$  – критичний інтервал, с.;  $t_f$  – інтервал слідування з черги другорядного потоку (на вході кільця), с.

Слід відзначити, що проведені за останні роки дослідження дозволили доповнити методіку HCM 2000. Запропоновано емпіричні моделі для оцінювання пропускної здатності входу на односмугову кільцеву розв'язку [26]

$$c_a = a \cdot e^{-b \cdot V_c}, \quad (3)$$

де  $a, b$  – параметри моделі.

Важливим є той факт, що залежність (3) може бути відкоригована з урахуванням місцевих даних, які отримуються за результатами натурних обстежень. При цьому уточнюючі параметри визначаються наступним чином [26]

$$a = \frac{3600}{t_f}, \quad (4)$$

$$b = \frac{t_c - t_f}{3600}. \quad (5)$$

Головною основою для розробки підходу щодо визначення пропускної здатності кільцевих розв'язок на австралійських теренах є дослідження J.C. Tappin [27]. Пропускна здатність другорядного напрямку визначається наступним чином

$$q_e = \frac{q_c \cdot (1 - t_p \cdot q_c) \cdot e^{-q_c \cdot (t_c - t_p)}}{1 - e^{q_c \cdot t_f}}, \quad (6)$$

де  $q_c$  – інтенсивність руху на кільці, авт./с.;  $t_p$  – мінімальний інтервал між транспортними засобами головного потоку, с.

Пізніше R.J. Troutbeck модифікував модель (6) застосувавши розподіл Кована для описання інтервалів у потоці головного напрямку [28]

$$q_e = \frac{3600 \cdot (1 - \Delta) \cdot q_c \cdot e^{-\lambda \cdot (t_c - t_p)}}{1 - e^{-\lambda \cdot t_f}}, \quad (7)$$

де  $\Delta$  – частка пов'язаної частини потоку головного напрямку (частка транспортних засобів у пачках);  $\lambda$  – параметр розподілу інтервалів у головному потоці;

$$\lambda = \frac{(1-\Delta) \cdot q_c}{1-t_p \cdot q_c} \quad (8)$$

Британська методика розрахунку пропускної здатності в основному базується на дослідженнях R.M. Kimber [6, 28] і полягає у використанні лінійної регресійної моделі

$$Q_e = F - f_c \cdot Q_c, \quad (9)$$

де  $Q_e$  – пропускна здатність на вході кільцевої розв'язки, авт./год.;  $Q_c$  – інтенсивність руху на кільці, авт./год.;  $F, f_c$  – параметри, що залежать від геометрії розв'язки.

Пізніше R.M. Kimber встановив, що кут входу на кільце і радіус входу на кільце мають незначний вплив на величину пропускної здатності та ввів коефіцієнт корегування, який враховує ці параметри

$$Q_e = k \cdot (F - f_c \cdot Q_c), \quad (10)$$

де  $k$  – коефіцієнт корегування;

$$k = 1,151 - 0,00347 \cdot \phi - \frac{0,978}{r}, \quad (11)$$

де  $\phi$  – кут входу на кільце, град.;  $r$  – радіус входу на кільце, м.

На відміну від британської, основою німецької методики розрахунку пропускної здатності входу на кільцеву розв'язку є нелінійна регресійна модель [6]

$$Q_e = A \cdot e^{-\frac{B \cdot Q_c}{10000}}, \quad (12)$$

де  $A, B$  – параметри, що залежать від планувальних характеристик розв'язки.

Поширення залежності (12) пояснюється її простотою та зручністю практичного використання.

З урахуванням результатів аналізу переваг і недоліків існуючих методик щодо визначення пропускної здатності кільцевих розв'язок фінськими спеціалістами розроблена своя методика [29], відповідно якої пропускна здатність підходу до кільцевої розв'язки визначається за залежністю (13)

$$C_k = \frac{3600 \cdot \left( \sum_{i=1}^n \gamma_i \right) \cdot e^{-\sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot (t_{c,i} - t_p)}}{1 - e^{-\sum_{i=1}^n t_f \cdot \gamma_i}} \cdot \prod_{i=1}^n \frac{q_i}{3600 \cdot \gamma_i}, \quad (13)$$

де  $n$  – кількість смуг на вході кільця, що розглядається;  $\gamma_i$  – параметр розподілу інтервалів між транспортними засобами головного потоку (розглядається смуга  $i$  кільцевої проїжджої частини в місці примикання смуги  $k$  входу на кільце);  $t_p$  – мінімальний інтервал між транспортними засобами головного потоку, с.;  $t_c$  – критичний інтервал, с.;  $t_f$  – інтервал слідування із черги в чергу другорядного потоку на смузі  $k$ , с.;  $q_i$  – інтенсивність руху потоку смуги  $i$  кільцевої проїжджої частини в місці примикання полоси  $k$  входу на кільце, авт./с.

Для кільцевої розв'язки, входу на яку мають по одній смузі залежність (13) спрощується

$$C_k = \frac{q \cdot e^{-\gamma \cdot (t_c - t_p)}}{1 - e^{-\gamma \cdot t_f}}. \quad (14)$$

Слід відзначити, що в міжнародній практиці передбачається, що в умовах міста пропускна здатність виходу з кільця складає 1200-1300 авт./год. Але при цьому слід враховувати, якщо інтенсивність потоку, який виходить, складає 1200 авт./год. і більше, то необхідні дві смуги руху на виході.

Другим критерієм оцінювання ефективності функціонування різних типів розв'язок є величина транспортних затримок. У відповідності до [11] кільцеві розв'язки мають безперервний, саморегульований, каналізований рух. Затримки транспорту на кільцевих розв'язках із відповідними схемами організації руху є меншими у порівнянні з регульованими перетинами.

Враховуючи умови, за якими проводиться оцінювання вузла, розрахункова швидкість саморегульованої кільцевої розв'язки змінюється відповідно [30]. Найчастіше тривалість транспортних затримок використовується як критерій оптимізації управління рухом на окремих перетинах. Її величина залежить від інтенсивності руху, довжини черги, пропускної здатності, параметрів циклу світлофорного регулювання. Найчастіше для оцінювання використовується середнє значення транспортної затримки на розв'язці, на основі якої встановлюється загальна довжина черги транспортних засобів і сумарні транспортні затримки на розв'язці. Найбільшого розповсюдження для визначення середньої транспортної затримки на регульованій розв'язці отримала формула Вебстера, приклади її використання наведені як в європейських, так і американських дослідженнях. Результати аналізу існуючих підходів розрахунку затримки свідчать, що використання формули Вебстера призводить до значних помилок [31]. У даний час сучасні формули визначення затримок враховують не тільки стан на розв'язці, що розглядається, а також і його вплив на розв'язки, які знаходяться до нього та здатні враховувати вплив адаптивного регулювання на роботу розв'язки.

Слід відзначити, що в закордонних настановах з визначення пропускної здатності різного типу розв'язок [16, 25, 29] також представлені методики щодо визначення середніх затримок транспорту на кільцевих розв'язках. Відповідно до них, основними показниками, від яких залежить величина затримки транспорту на кільці є пропускна здатність входу на кільце та інтенсивність руху на кільці.

Третім критерієм ефективності функціонування кільцевих розв'язок є рівень аварійності. На даний час для оцінювання рівня аварійності на ділянках транспортної мережі можуть використовуватись [22]:

- статистичні методи;
- ймовірнісні методи;
- методи, що засновуються на вивченні режимів і характеристик руху транспортних засобів на ділянці транспортної мережі, для якої проводиться оцінювання;
- метод конфліктних ситуацій.

За організацією руху кільцеві розв'язки є найбільш безпечними, оскільки в даному випадку виключена можливість пересічення транспортних потоків.

Для оцінювання рівня аварійності в містах виявляються місця концентрації ДТП. Ці місця визначаються за статистичними даними про кількість ДТП (не менше ніж за три роки) та розрахунковим значенням показника відносної аварійності. На даний час на теренах України для оцінювання ймовірної кількості ДТП на нерегульованих і кільцевих розв'язках проводиться на основі кількості й типу конфліктних точок і їхніх коефіцієнтів аварійності. Але слід відзначити, що зараз відсутні загальноприйняті методики щодо прогнозування кількості ДТП на ділянках вулично-дорожньої мережі з кільцевим рухом [22].

В даний час проектування транспортних розв'язок регламентується існуючими нормами на проектування доріг і деякими рекомендаціями та до цих пір відсутнє керівництво для визначення рівнів обслуговування транспортних споруд. Рівень обслуговування показує безпеку, комфортність, свободу і швидкість руху (час у дорозі) водія [22, 25, 32]. На даний час в Україні відсутні рекомендації щодо оцінювання LOS. Найбільшого поширення цей показник отримав у США і зараз розповсюджується в європейських країнах.

Відповідно [25] виділяють шість рівнів обслуговування на кільцевих розв'язках (таблиця 3). Умовою віднесення кільцевої розв'язки до того чи іншого LOS є значення середніх транспортних затримок, з урахуванням того, що рівень насичення менше або дорівнює 1. Якщо рівень насичення є більшим за одиницю, то рівень обслуговування (зручність руху) вважається рівним F.

Слід відзначити, що рівні обслуговування доцільно використовувати у вітчизняній практиці проектування для отримання більш чіткого та структурованого розуміння роботи транспортної розв'язки, як ізольованої, так і в мережі в цілому. Також слід розуміти, що LOS не суперечить вітчизняним нормам проектування, а лише доповнює їх. Для оцінки рівня обслуговування транспортних розв'язок можна використовувати інструменти для імітаційного моделювання транспортних потоків, зокрема PTV Vision VISSIM [32].

## Класифікація LOS

LOS	Значення середньої затримки, с
A	$d < 10$
B	$10 < d \leq 15$
C	$15 < d \leq 25$
D	$25 < d \leq 35$
E	$35 < d \leq 50$
F	$d > 50$

**Висновки.** 1. Зарубіжний досвід застосування міні-кільцевих розв'язок свідчить про їх високу ефективність як засобу підвищення безпеки руху, зокрема підвищення безпеки руху пішоходів. При цьому найбільш важливим моментом є зниження кількості ДТП із загиблими і пораненими. 2. Додаткових досліджень потребують особливості проектування міні-кільцевих розв'язок із встановленням розрахункових параметрів для використання у вітчизняній практиці проектування. 3. В якості кількісної оцінки пропускної здатності міні-кільцевої розв'язки в більшості існуючих методик використовується такий показник як пропускна здатність входу на розв'язку. На теренах України дане питання є мало вивченим і потребує детального дослідження з метою визначення найефективнішої та наближеної до реальних умов руху транспорту на міні-кільцевих розв'язках методик розрахунку пропускної здатності та середньої транспортної затримки. 4. Для оцінювання рівня аварійності та рівня обслуговування на етапі проектування міні-кільцевих розв'язок доцільно використовувати пакети транспортного імітаційного моделювання, вибір і обґрунтування яких залежить від ступеня деталізації об'єкту, що розглядається.

**Список використаних джерел:**

1. Стратегія підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2020 року [Електронний ресурс] Офіційний веб-портал Верховної Ради України. – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/481-2017-%D1%80>.
2. Towards safer roads and healthier transport choices / European status report on road safety. – World Health Organization, 2009. – 161 p.
3. Martin Small Road safety management capacity review and strategy development in Ukraine / Martin Small, Soames Job, Eric Lancelot, Radek Czapski, Yevhen Bulakh, Simon Ellis. – The World Bank, 2016. – 78 p.
4. Топ-8 причин ДТП в Україні [Електронний ресурс] Офіційний сайт 24-го каналу. – Режим доступу : [https://24tv.ua/ru/top8\\_prichin\\_dtp\\_v\\_ukraine\\_infografika\\_n772359](https://24tv.ua/ru/top8_prichin_dtp_v_ukraine_infografika_n772359).
5. Про затвердження Державної програми підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2020 року [Електронний ресурс] Офіційний сайт Міністерства інфраструктури України. – Режим доступу : <https://mtu.gov.ua/projects/137>.
6. Михайлов А.Ю. Современные кольцевые пересечения : монографія / А.Ю. Михайлов. – Иркутск, 2009. – 103 с.
7. Поздняков М.Н. Совершенствование организации дорожного движения на кольцевых пересечениях : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.22.10 / М.Н. Поздняков. – Волгоград, 2005. – 23 с.
8. Организация дорожного движения на кольцевых и нерегулируемых пересечениях. Адаптация современных методик проектирования и оценки эффективности нерегулируемых и кольцевых пересечений к российским условиям движения : отчет о научно-исследовательской работе / руководитель А.Г. Левашев. – Иркутск, ИГТУ, 2006. – 30 с.
9. Рейцен Е.А. Проблемы кольцевых пересечений в городах и пути их решения / Е.А. Рейцен, А.Ю. Васильева // Містобудування та територіальне планування. Науково-технічний збірник. – Київ, КНУБА, 2011. – С. 369 – 380.
10. ГБН В.2.3-37641918-555:2016 Автомобільні дороги. Транспортні розв'язки в одному рівні проектування. – Міністерство інфраструктури України : Київ, 2016. – 58 с.
11. ДБН В.2.3-5-2001 Споруди транспорту. Вулиці та дороги населених пунктів. – Держбуд України : Київ, 2001. – 52 с.
12. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво. – Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України : Київ, 2015. – 112 с.
13. ДБН В.2.3-5:2017 Вулиці та дороги населених пунктів [Електронний ресурс] Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. Режим доступу :

<http://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/building/tech-reg/normuvannia/proekti-budivelnih-norm-dlya-obgovorennya/proekt-dbn-v-2-3-5-2017-vulitsi-ta-dorogi-naselenih-punktiv>.

14. Елугачев П.А. Исследование многообразия схем и нормативов кольцевых пересечений в разных уровнях / П.А. Елугачев, М.А. Елугачев // САПР и ГИС автомобильных дорог. №1 (4) – Томск, 2015. – С. 60-64.

15. СП 34.133330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85\*.

16. ОДМ 218.2.071-2016 Методические рекомендации по проектированию кольцевых пересечений при строительстве и реконструкции автомобильных дорог. – Издательство ФГУП «Информавтодор», 2016. – 167 с.

17. TD 22/06. DMRB 6.2.1. Layout of Grade Separated Junctions. The highways agency, 2006. - 79 p.

18. NCHRP REPORT 672. Roundabouts: An Informational Guide / Transportation research board of the National Academies. – Washington, D.C., 2010. – 407 p.

19. What roundabout design provides the highest possible safety? //Nordic Road & Transport Research, 2000, № 2, P. 17- 21.

20. Таекраток Т. Modern roundabouts for Oregon. Salem, Oregon: Oregon Department of Transportation, 1998. - 124 p.

21. Аникина И.А. Опыт применения мини-кольцевых в Европе, Аляске и Канаде / И.А. Аникина, Т.К. Балгабеков, Ж.Н. Аубекерова, Н.А. Аубекеров // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 8-5. – С. 841-846.

22. Бондар О.В. Критерії оцінювання інженерно-планувальних рішень перетинів міських магістральних вулиць з кільцевим рухом транспорту / О.В. Бондар // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2016. – Вип. № 65. – С. 3-9.

23. ОДМ 218.2.020-2012 «Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог». - М.: Росавтодор, 2012. – 141 с.

24. John van Rijn Road Capacities / John van Rijn. – INDEVELOPMENT, Edition 2004. – 18 p.

25. Highway Capacity Manual 2000 //Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., U.S.A. 2000. – 1134 p.

26. Drago Sever Traffic engineering Highway Capacity Manual 2010 (Interrupted traffic flow) [Електронний ресурс] Офіційний сайт Faculty of Technical Sciences of «St. Kliment Ohridski» University, Bitola. – Режим доступу : [http://www.tfb.edu.mk/files/Attachment/4\\_Interrupted\\_flow\\_HCM\\_2010.pdf](http://www.tfb.edu.mk/files/Attachment/4_Interrupted_flow_HCM_2010.pdf).

27. Tanner J.C. A theoretical analysis of delays at an uncontrolled intersection / J.C. Tanner. - Biometrika 49 (1 and 2), 1962. – P. 163-170.

28. Troutbek R.J. Does gap acceptance theory adequately predict the capacity of a roundabout? / R.J. Troutbek // Proceedings 12th Australian Road Research Board Conference 12 (4), 1984. – 62-75 pp.

29. Capacity and Level of Service at Finnish Unsignalized Intersections // Finnra Reports, 2004. – 214 p.

30. Осетрін М.М. Міські дорожньо-транспортні споруди: навчальний посібник для студентів ВНЗ / М.М. Осетрін. – К.: ІЗМН, 1997. – 196 с.

31. Левашев А.Г. Проектирование регулируемых пересечений: учебное пособие / А.Г. Левашев, А.Ю. Михайлов, И.М. Головных. – Иркутск: изд-во ИрГТУ, 2007. – 208 с.

32. Уровень обслуживания (LoS) транспортной развязки [Електронний ресурс] Офіційний сайт освітнього журналу Transspot.ru. – Режим доступу : <http://transspot.ru/2013/06/12/uroven-obluzhivaniya-los-transportnoj-razvyazki>.

Стаття надійшла до редакції 20.03.2018