

УДК 656.078

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).1.188-196](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.188-196)**І.О. Хітров**, доц., канд. техн. наук*Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна**e-mail: i.o.khitrov@nuwm.edu.ua*

Дослідження умов безпечного проїзду перехрестя з близькими залізничними коліями

Стаття присвячена оцінюванню рівня безпеки поїзду перехрестя з близькими залізничними коліями для міста Дубно Рівненської області. Досліджено, побудовано модель дорожньої ситуації і проаналізовано фактичні умови безпечного проїзду перехрестя з близькими залізничними коліями та надано практичні рекомендації з удосконаленням організації дорожнього руху на перспективу.

транспортний засіб, транспортний потік, перехрестя, залізничні колії, безпека, моделювання

Постановка проблеми. Перехрестя є критичними місцями дорожньої мережі з точки зору пропускної здатності, рівня обслуговування та безпеки. Вони є місцем, де транспортні потоки постійно змінюються і, тим самим змінюють дорожню ситуацію. Це місця з високим ризиком аварійних ситуацій, оскільки учасники дорожнього руху при перетині перехрестя повинні використовувати один і той самий простір (зону перехрестя).

Необхідно умовою підвищення рівня безпеки проїзду перехрестя є чітке дотримання правил дорожнього руху, відповідність дорожньої інфраструктури (дорожні знаки, розмітка світлофорне регулювання, освітлення тощо), особливо у випадку розташування перехрестя з близькими залізничними коліями.

Важливо дослідити і змоделювати умови проїзду перехрестя з врахуванням інтенсивності та складу транспортних потоків, в тому числі і на перспективу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У науковій літературі достатньо повно висвітлено результати досліджень вітчизняних і зарубіжних авторів щодо підвищення ефективності руху транспортних засобів через регульовані ділянки доріг.

Пропускна здатність перехрестя оптимізують шляхом використання множинного підходу [1], ієрархічних нечітких систем [2], методу детектування транспортних засобів [3], дослідження взаємодії потоків [4].

Однак, в дослідженнях приділяється недостатньо уваги підвищенню безпечності проїзду перехрестя у випадку з близьким розташуванням залізничних колій.

Постановка завдання. Основними причинами дорожньо-транспортних пригод в місті Дубно, які були скоєні за період з травня до вересня 2022 року є порушення правил маневрування, проїзду перехрестя і перетину залізничних колій, що підкреслює необхідність у проведенні досліджень і обґрунтуванні запропонованих заходів, які сприятимуть покращенню безпеки дорожнього руху. Перспективним і необхідним в цьому плані є дослідження безпечності проїзду транспортних засобів через перехрестя з близькими залізничними коліями, зокрема вулиці Мостова і Кременецька, які є магістральними з насиченим цілодобовим транспортним потоком.

Метою даної роботи є підвищення рівня безпеки поїзду перехрестя з близькими залізничними коліями шляхом удосконалення організації дорожнього руху для міста Дубно Рівненської області.

Виклад основного матеріалу. Перехрестя є критично важливим аспектом проектування вулиць як точка, де сходяться рухи автомобілів, велосипедистів і пішоходів. Успішне проектування перехрестя або його реконструкція повинно відповідати всім цілям мобільності та безпеки, а також можливостям покращення громадського простору.

В Правилах дорожнього руху [5] дано чітке визначення терміну 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».

Автор Phillip Jordan [6] характеризує перехрестя як «місце, де дві або більше доріг зустрічаються на рівні, а також становить підвищений ризик серйозних травм або смерті під час аварії через високу відносну швидкість зіткнення».

Залежно від виду перехрещення проїзних частин (геометричної конфігурації, яка найкраще описує перетин) розрізняють 7 основних його типів: «Т-подібне»; «чотиристороннє»; «Х-подібне»; «Y-подібне»; «вилоподібне»; «кільцеве» та «змішане» [7, 8].

Кожне перехрестя має свої геометричні межі, які необхідно кожному водієві вміти візуально визначати, це особливо актуально у випадках, коли на ньому відсутні горизонтальна розмітка або технічні засоби організації дорожнього руху.

Важливою умовою безпечного проїзду перехрестя є його оглядовість, яка визначається присутніми спорудами, огорожувальними елементами, поворотами дороги або рельєфними особливостями, наявністю транспортних засобів на узбіччі, природно-кліматичними умовами, наявності освітлення, конструктивних особливостей (оглядовості) ділянки, тощо.

Зауважимо, що в Правилах дорожнього руху [5], чітко прописано, що «головною умовою забезпечення безпеки при проїзді перехрестя є визначення водієм переваги в русі, тобто права на першочерговий рух стосовно інших учасників дорожнього руху».

Опішимо послідовність дій водієм для безпечного проїзду перехрестя:

- зайняти відповідну смугу дорожнього руху враховуючи розмітку і дорожні знаки;
- знизити швидкість руху транспортного засобу;
- визначити тип перехрестя, наявність світлофорного регулювання;
- оцінити дорожню обстановку для проїзду транспортним засобом;
- визначити наявність переваги в русі (необхідності дати дорогу іншим учасникам дорожнього руху);
- зупинити транспортний засіб на відповідній смузі з врахуванням можливої зміни ситуації;
- здійснити безпечний проїзд перехрестя.

Визначимо і охарактеризуємо зміст основних принципів безпечного проїзду перехрестя із близькою залізничною колією:

1. Зменшення конфліктних точок проїзду перехрестя (чим менше конфліктних точок – тим безпечніше).

2. Зменшення відносних швидкостей зіткнень (удару) транспортних засобів (змінюючи швидкість руху шляхом встановлення обмежуючих знаків у поєднанні з конфігурацією перехрестя (смуг руху) можна покращити безпечні умови його проїзду).

3. Достатня оглядовість (кожен водій повинен вчасно розпізнати умови проїзду перехрестя, щоб мати можливість безпечно зреагувати). Забезпечення дистанції візування підходу є найкращим способом цього забезпечення – це мінімальний рівень видимості, який повинен бути забезпечений на перехресті.

4. Швидкісний режим. Нерідко перевищення швидкості водієм (заданого режиму руху) викликане тим, що водій не отримав відповідної інформації про наявність перехрестя. Щоб цього уникнути необхідно покращити дистанцію огляду

підходу і завершення проїзду перехрестя; зробити перехрестя більш помітним; необхідність виділення смуг руху; встановлення попереджувальних знаків; встановлення попередніх вказівників; дублювання; відповідне освітлення.

5. Світлофорне регулювання. Автомобільні сигнали безпечніші та ефективніші. Сигнали з фіксованим часом дешевші, але можуть стимулювати «проїзд на червоне світло». Нерідко спостерігається картина накопичення транспортних засобів і мала пропускна здатність проїзду перехрестя.

Дослідженнями багатьма науковцями країн Європейського союзу [3, 6, 9, 10] підтверджено, що «для максимальної ефективності сигнали світлофора повинні бути активовані, вони мають детектори на кожному підході, детектори повідомляють диспетчеру, на якому під'їзді є транспортні засоби, і дають цьому підходу більше часу, і ефективніше, ніж сигнали з фіксованим часом, а також безпечніше!, оскільки водії знають, що вони отримають короткі затримки, і більшість підкорятиметься червоним сигналам».

6. Відповідне облаштування пішохідних переходів. Пішохідні переходи повинні бути сконструйовані таким чином, щоб забезпечити якомога більше комфорту та захисту пішоходів. Історично склалося так, що багато пішохідних переходів проектувалися з використанням неадекватних, вузьких смуг, відступів, відхилень від пішохідної доріжки та значних відстаней переходу. Вони повинні бути максимально компактними, сприяючи зоровому контакту переміщення пішоходів в полі зору водія.

Варіанти посилення безпеки проїзду залізничних колій можуть включати: завчасні попереджувальні знаки; обробка (контроль) черги; координація сигналів світлофора; реконструкція дороги; оновлений механізм керування (наприклад, пробіскові вогні та шлагбаум); світло високої інтенсивності (наприклад, світлодіоди); покращення лінії огляду; обмеження швидкості на під'їзді до залізничних переїздів; закриття переходу.

Безпека на залізниці – це відповідальність кожного. Ризикувати на залізничних переїздах небезпечно – будь-який інцидент на залізничному переїзді може призвести до збоїв у роботі, затримок транспортних засобів, пошкодження майна, травм, а в найсерйозніших випадках – травм і смерті.

Місто Дубно має специфічну вулично-дорожню мережу, основний транспортний потік міського, районного і міжміського транспорту здійснюється вулицями Мостова, Кременецька, Залізнична, Грушевського, Сурмичі, Данила Галицького.

Для дослідження безпечності проїзду було обрано проблемне перехрестя з близькими залізничними колями міста Дубно перетину вулиць Мостова і Кременецька (рис. 1).

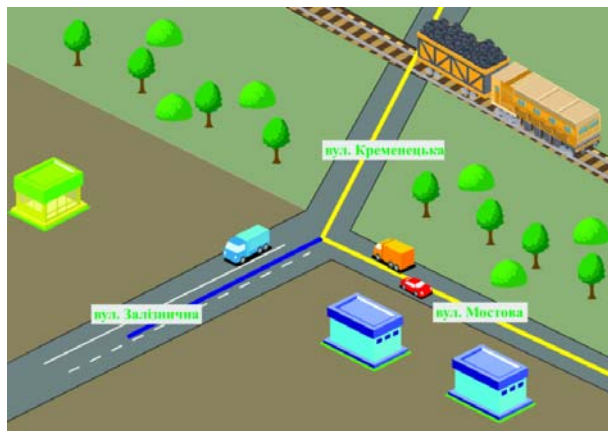


Рисунок 1 – Досліджуване перехрестя з близькими залізничними колями

Джерело: розроблено автором

Головною особливістю цього перехрестя є близьке розміщення за 8 метрів залізничного переїзду із шлагбаумом, тобто перехрещення дороги із залізничними коліями в одному рівні з обладнанням світлофорної сигналізації (рис. 2).



Рисунок 2 – Схема залізничного переїзду на вул. Кременецька міста Дубно

Джерело: розроблено автором

Досліджуване перехрестя має цілодобовий насичений транспортний потік з частим зупиненням руху транспорту, що зумовлений рухом потягів.

Крім того, дане перехрестя має специфічні компоновальні особливості. Тип перехрестя – Т-подібне. Хоча воно простішої компоновки, однак має недостатню ширину проїзду, тобто не адаптоване для проїзду значної кількості вантажних транспортних засобів (вантажопідйомність більше 10 т).

На досліджуваному перехресті (рис. 3), з погляду організації безпеки дорожнього руху спостерігаються дорожні ситуації через конструктивні особливості перехрестя або недотримання правил дорожнього руху водіями, а саме:

1. Утруднений роз'їзд;
2. Недотримання траєкторії повороту транспортних засобів через габаритні особливості транспорту або вибору недостатньої траєкторії зміни напрямку руху;
3. Вибір недостатнього радіусу заокруглення для повороту праворуч (особливо спостерігається в нічний час доби);
4. Складність виконання повороту ліворуч при забороненому сигналі залізничного переїзду. Із збільшенням тривалості забороненого сигналу світлофора спостерігається збільшення кількості транспортних засобів, особливо вантажних, загальна довжина яких може сягати більше 200 метрів. Ширина дороги недостатня для випередження транспортних засобів (необхідно виїжджати на сусідню смугу руху), тим самим утруднюється їх роз'їзд при підході до перехрестя.

Оскільки позначене перехрестя в м. Дубно знаходиться в безпосередній близькості від залізничного переїзду, обладнання керування залізничними сигналами та обладнання керування сигналами керування дорожнім рухом повинні бути з'єднані між собою, а нормальна робота світлофорів, що контролюють перехрестя, повинна бути перетворена на роботу в спеціальному режимі керування під час наближення потягів.

З метою моделювання різних умов проїзду перехрестя з близькою залізничною колією і прийняття необхідного рішення необхідно дослідити склад транспортних потоків, зокрема їх розподіл за головним напрямом – вул. Мостова. Найбільше для

досліджень цікавить розподіл транспортних потоків для повороту ліворуч на вул. Залізничну.

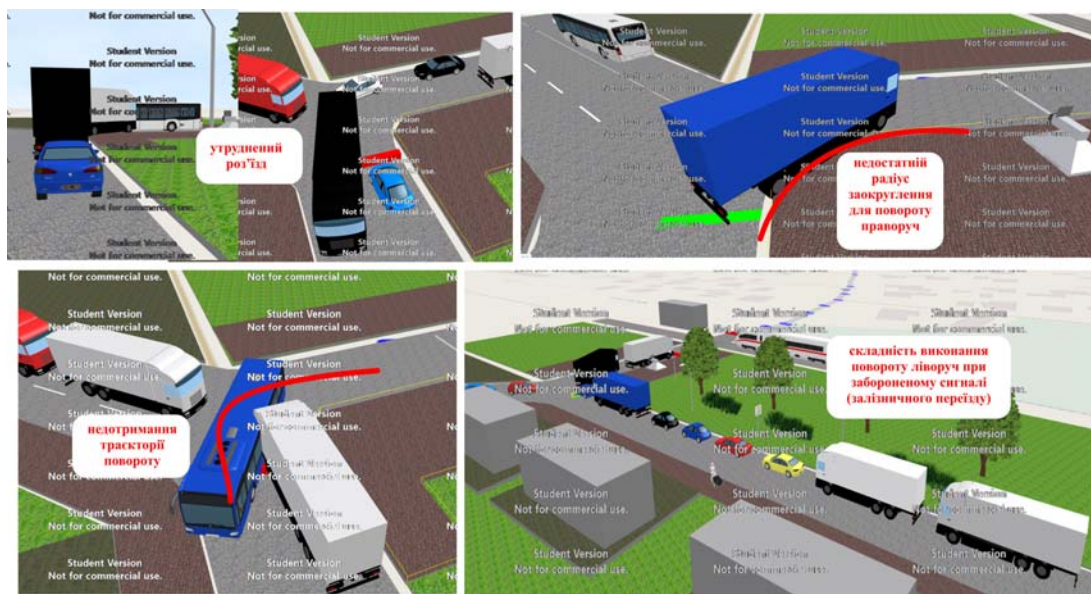


Рисунок 3 – Можливі дорожні ситуації при проїзді перехрестя і на підступах до нього
Джерело: розроблено автором (змодельовано в програмному забезпеченні Vissim студентська версія)

Дослідження транспортних потоків виконувалося в період з 15 по 21 серпня 2022р. З метою отримання достовірних даних протягом тижня здійснювалося спостереження в один і той самий час з 16-17 години.

В середньому за одну годину через перехрестя в напрямку вул. Мостова проїжджає від 165 до 203 одиниць транспортних засобів при середньому значенні в 192 одиниці, що свідчить про значну їх насиченість (рис. 4). Менша кількість спостерігається у вівторок і суботу.

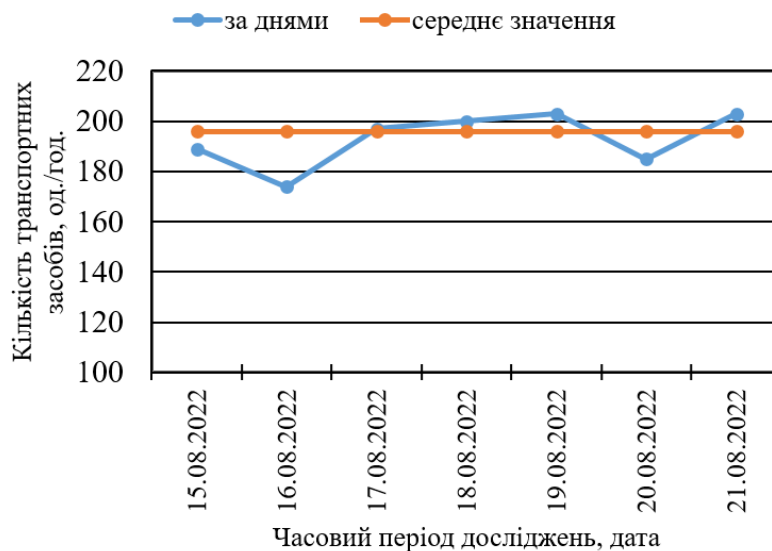


Рисунок 4 – Облікова кількість транспортних засобів за напрямом від перехрестя на вул. Мостова
Джерело: розроблено автором

В середньому за одну годину від вул. Мостова в напрямку досліджуваного перехрестя проїжджає від 172 до 196 одиниць транспортних засобів при середньому

значенні в 184 одиниці, що свідчить про значну насиченість проїжджої частини магістральної вулиці.

Дослідження показують, що загальна середня кількість транспортних засобів, які здійснюють лівий поворот складає 44 одиниці, тобто в середньому 22-25%.

Відмічена найбільша кількість транспортних засобів – легкових, частка яких складає більше 68%, однак третину всієї кількості займають вантажні (рис. 5).

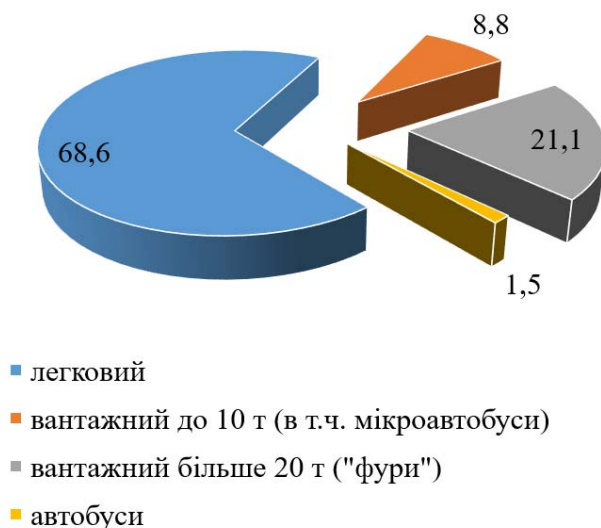


Рисунок 5 – Відсотковий розподіл транспортних засобів при їх підході до досліджуваного перехрестя

Джерело: розроблено автором

Для оцінки функціонування перехрестя згідно передбаченої організації дорожнього руху, його моделювання, аналізу і удосконалення крім чисельності транспортних засобів необхідно оцінити їх накопичення біля шлагбауму (світлофора).

Під час проїзду потяга встановлено, що кількість транспортних засобів, яка очікує проходження потяга складає від 3 до 50 і більше одиниць із максимальною довжиною черги більше 200 метрів (рис. 6).

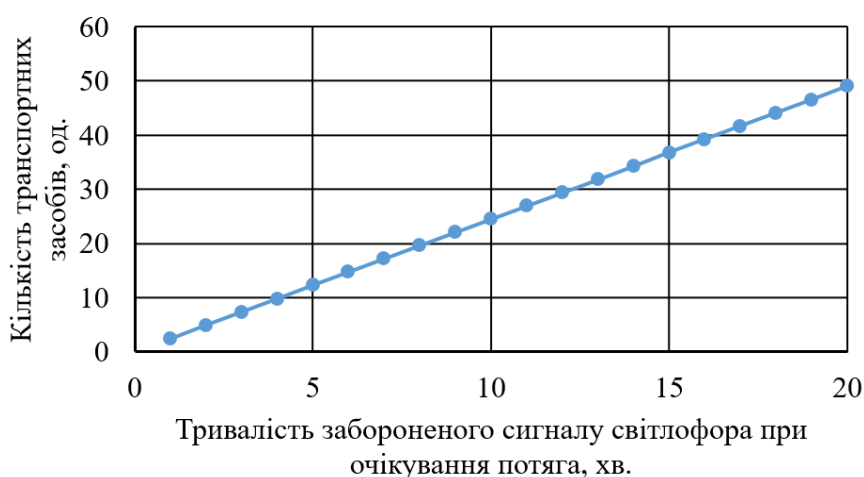


Рисунок 6 – Накопичення транспортних засобів біля перехрестя при очікуванні проїзду потяга

Джерело: розроблено автором

Враховуючи, що ми маємо одну смугу руху в одному напрямку, то у випадку зупинки транспортних засобів при очікуванні потяга протягом 10 хв. спостерігається значне накопичення, а ті транспортним засобам, що здійснюють лівий поворот змушені виїжджати на зустрічну смугу руху, що в свою чергу створюють небезпечну ситуацію, яка полягає в ускладненні проїзду вантажних автомобілів через недостатню ширину обох смуг руху.

Моделювання умов проїзду транспортних засобів через перехрестя із близьким розташуванням залізничних колій здійснювалося в програмному забезпеченні PTV Vissim [11] (студентська версія) – це мікроскопічна імітаційна модель на основі кроків у часі та поведінки для реалістичного моделювання транспорту (рис. 7).

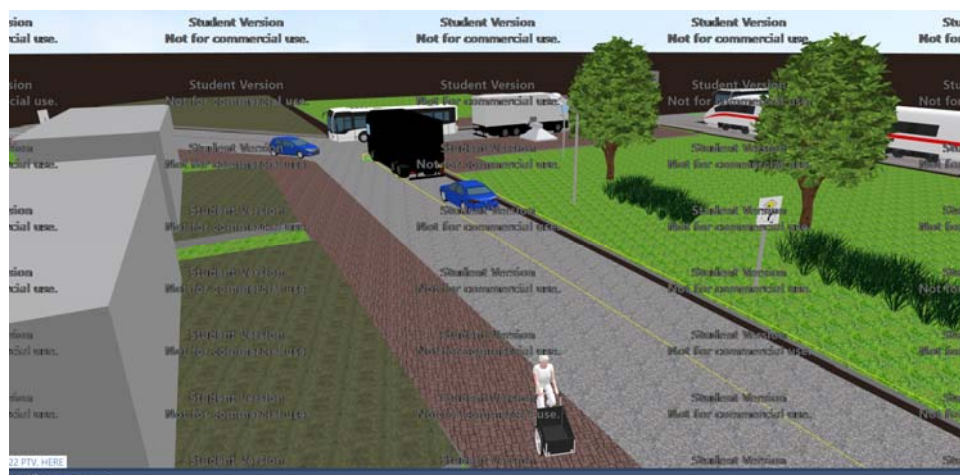


Рисунок 7 – Візуалізація моделі проїзду транспортних засобів через перехрестя і залізничні колії
Джерело: розроблено автором (змодельовано в програмному забезпеченні Vissim студентська версія)

Результати аналізу основних показників (рис. 8), які впливають на безпечні умови проїзду перехрестя з залізничною колією показують:

1. Час затримки проїзду перехрестя в середньому складає 10,4 с. (максимальне значення 20,12 с.) – без врахування часу проїзду потяга;
2. Швидкість руху транспортних засобів через перехрестя в середньому складає 12,1 км/год.

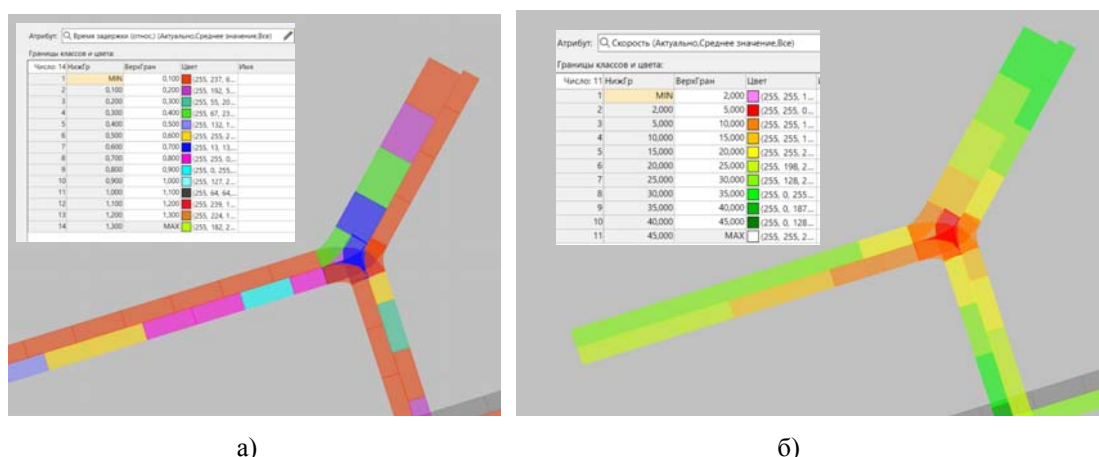


Рисунок 8 – Діаграма зміни часу затримки проїзду перехрестя (а) та швидкості руху транспортних засобів на підході і через перехрестя (б)
Джерело: розроблено автором (змодельовано в програмному забезпеченні Vissim студентська версія)

Головним недоліком досліджуваного перехрестя є відсутність пішохідних переходів.

Висновки:

З метою підвищення безпеки проїзду перехрестя з близькими залізничними колями для міста Дубно на основі проведених досліджень становлено, що необхідно передбачити додаткову смугу руху для лівого повороту транспортних засобів на вул. Залізнична, пішохідний перехід через всі вулиці перехрестя, збільшити ширину смуги руху для транспортних засобів, які наближаються до перехрестя вул. Мостова та здійснити перевірку ефективності запропонованих заходів шляхом прогнозного моделювання.

Список літератури

1. Mingtao Xu, Kun An, Le Hai Vuc, ZhiruiYe, Jiaxiao Feng, Enhui Chen. Optimizing multi-agent based urban traffic signal control system. *Journal of Intelligent Transportation Systems*. 2019. Vol. 23(4), P. 357-369.
2. Runmei Li, Shujing Xu. Traffic Signal Control Using Genetic Decomposed Fuzzy Systems. *International Journal of Fuzzy Systems*. 2020. Vol. 22, Issue 6, P. 1939-1947.
3. Min Yang Yang, Gang Sun, Wei Wang, Xin Sun, Jian Ding, Jing Han. Evaluation of the pre-detective signal priority for bus rapid transit: coordinating the primary and secondary intersections. *Transport*. 2015. Vol. 33(1). P. 41-51.
4. Ренкас А.А., Руденко Д.В., Товарянський В.І. Підвищення ефективності функціонування перехресть з високоінтенсивними транспортними та пішохідними потоками. *Вісник ЛДУБЖД*. 2021. №23. С. 61-67.
5. Правила дорожнього руху України. Київ : Укрспецвидав, 2022. 112 с.
6. Phillip Jordan. Technical knowledge for road safety engineers – intersection safety. URL: <https://www.carecprogram.org/uploads/10-Intersection-safety.pdf> (дата звернення: 30.08.2022).
7. Nancy Lefler, Forrest Council, David Harkey. Model Inventory of Roadway Elements. Vienna : VHB. 2010, p. 185.
8. Проїзд перехресть. Mnvk-rizhavka.at.ua : веб-сайт. URL: http://mnvk-rizhavka.at.ua/index/projizd_perekhrest/0-40 (дата звернення: 30.08.2022).
9. Peter Koonce, Lee Rodegerdts, Kevin Lee. Traffic signal timing. Portland : Kittelson & Associates. 2008. P. 274.
10. Bonneson J. A., McCoy P. T. Traffic Detector Design. Institute of Transportation Engineers. Washington : DC. 2005. P. 186.
11. PTV Vissim: First Steps Tutorial. Germany. PTV Planning Transport. Verkehr AG. 2021. P. 37.

References

1. Xu, M., An, K., Vu, L. H., Ye, Z., Feng, J. & Chen, E. (2019). Optimizing multi-agent based urban traffic signal control system. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 23 (4), 357-369 [in English].
2. Li, R. & Xu, S. (2020). Traffic Signal Control Using Genetic Decomposed Fuzzy Systems. *International Journal of Fuzzy Systems*, 22.6, 1939-1947 [in English].
3. Yang, M., Sun, G., Wang, W., Sun, X., Ding, J. & Han, J. (2018). Evaluation of the pre - detective signal priority for bus rapid transit: coordinating the primary and secondary intersections. *Transport*, 33(1), 41-51 [in English].
4. Renkas, A.A., Rudenko, D.W. & Tovaryansky, V.I. (2021). Pidvyshchennia efektyvnosti funktsionuvannia perekhrest z vysokointensyvnymy transportnymy ta pishokhidnymy potokamy [Enhancing the effective functioning of in tersections with intensive traffic and pedestrian flows]. *Bulletin of Lviv State University of Life Safety*, 23, 61-67 [in Ukrainian].
5. *Pravyla dorozhnoho rukhu Ukrainy [Traffic Rules of Ukraine]* (2022). Kyiv : Ukrspetsvydav [in Ukrainian].
6. Jordan, P. *Technical knowledge for road safety engineers – intersection safety*. (n.d.). *carecprogram.org*. Retrieved from <https://www.carecprogram.org/uploads/10-Intersection-safety.pdf> [in English].
7. Lefler, N., Council, F. & Harkey, D. (2010). *Model Inventory of Roadway Elements*. Vienna : VHB [in English].

8. Proizd perekhrest [Driving through the intersection]. *mnvk-rizhavka.at.ua*. Retrieved from http://mnvk-rizhavka.at.ua/index/projizd_perekhrest/0-40 [in Ukrainian].
9. Koonce, P., Rodegerdts, L., & Lee, K. (2008). *Traffic signal timing*. Portland : Kittelson & Associates [in English].
10. Bonneson, J.A. & McCoy, P.T. (2005). *Traffic Detector Design*. Transportation Engineers. Washington : DC [in English].
11. *PTV Vissim: First Steps Tutorial* . (2021). Germany. PTV Planning Transport. Verkehr AG [in English].

Ihor Khitrov, Assoc. Prof. PhD tech. sci.

National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine

Research of the Conditions for Safe Crossing of the Intersection with Nearby Railway Tracks

Crossing – is a place of crisscrossing, fitting closely or branching of roads at one level the limit of that are imaginary lines between beginning of rounding of edges of travel part each of roads. It is the critical place of road net from the point of view of carrying capacity of transport, level of service and safety, especially in case of location with near railway ways.

The successful planning or reconstruction of crossing must answer all aims of mobility and safety, and also possibilities of improvement of public space.

The article is devoted to the study of safe driving conditions of the intersection with nearby railway tracks for the city of Dubno, Ukraine.

At the investigated intersection, from the point of view of the traffic safety organization, the following traffic situations are observed: difficult exit; non-observance of the turning trajectory of vehicles due to the overall characteristics of the transport or the selection of an insufficient trajectory for changing the direction of movement; selection of insufficient rounding radius for right turn; the difficulty of making a left turn at a prohibited railway crossing signal. With the increase in the duration of the prohibited traffic light signal, there is an increase in the number of vehicles, especially cargo vehicles, the total length of which can reach more than 200 meters. The width of the road is not enough to overtake vehicles.

In order to simulate different conditions of crossing the intersection and make the necessary decision, the composition and intensity of traffic flows were studied. The study of traffic flows was carried out in the period from August 15 to 21, 2022.

A simulation model of the road situation was built and the actual conditions for safe passage of an intersection with nearby railway tracks were, and practical recommendations were given to improve the organization of road traffic.

It has been established that in order to increase the safety of passing through an intersection with nearby railway tracks for the city of Dubno, based on the conducted research and simulation modeling, it is necessary to provide an additional traffic lane for vehicles to make a left; a pedestrian crossing through the intersection; increase the width of the traffic lane.

vehicle, traffic flow, intersection, railway tracks, safety, simulation

Одержано (Received) 05.09.2022

Прорецензовано (Reviewed) 18.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.09.2022