

УДК 656.11

В.О. СІСТУК, канд. техн. наук, доц., А.О. БОГАЧЕВСЬКИЙ, асистент
Криворізький національний університет

ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ПЕРЕХРЕСТЯ МАГІСТРАЛЬНОЇ ТА ОБ'ЇЗНОЇ ВУЛИЦЬ З РЕГУЛЬОВАНИМ РУХОМ

Мета. Метою роботи є комплексне дослідження пропускної здатності перехрестя магістральної та об'їзної вулиць у місті Кривий Ріг, яке використовується учасниками дорожнього руху для зменшення часу проїзду між Саксаганським та Центральні-міським районами міста. Об'єктом дослідження виступає Х-подібна транспортна розв'язка, яка складається з проспекту Миру з 6 смугами руху, та примикаючої вулиці Гетьманської з 2 смугами з одного боку від проспекту, 4 смугами – з іншого. Предметом дослідження є показники часу проїзду перехрестя та довжини транспортних заторів.

Методи дослідження. У роботі було використано польові дослідження, метод комп'ютерного імітаційного моделювання та аналіз статистичних залежностей та показників.

Наукова новизна. Наукову цінність представляє розроблена комп'ютерна імітаційна модель перехрестя у програмному середовищі PTV VISSIM з урахуванням режиму світлофорної сигналізації та отриманих у польових умовах показників інтенсивностей руху.

Практична значимість. За результатами моделювання встановлено, що за напрямками з південної частини міста по вулиці «пр. Миру» та зі східної частини міста по вулиці Гетьманська утворюється значна черга транспортних засобів. У першому напрямку така черга (139 м) обумовлена необхідністю зупинки транспортних засобів перед перехрестям і недостатнім часом включення дозволяючого сигналу світлофору (30 с) для закінчення водіями маневру. У другому напрямку черга (156 м) утворюється через недостатню ширину проїзної частини (3,5 м). Для підвищення пропускної здібності проблемних ділянок перехрестя розроблені практичні рекомендації щодо розширення проїзної частини по вулиці Гетьманська на 2 м, для забезпечення 2-х смугового руху транспортних засобів (по 2,75 м на смугу), та розроблено нову 3-х фазну циклограму режиму світлофорного регулювання.

Результати. Проведений аналіз альтернативного варіанту будови та регулювання перехрестя показав, що з'являється можливість скоротити час руху транспортних засобів з південної частини міста по вулиці «пр. Миру» на 130 с, та зменшити довжину черги у напрямку з південної частини міста по вул. «пр. Миру» на 14 м, й зі східної частини міста по вулиці Гетьманська – на 18 м.

Ключові слова: транспортна система, комп'ютерне імітаційне моделювання, статистичні параметри, інтенсивність руху, світлофорне регулювання, PTV VISSIM.

Проблема та її зв'язок з науковими та прикладними завданнями. Місто Кривий Ріг є потужним транспортним вузлом, який пропускає через себе безліч видів легкового і вантажного транспорту, що ускладнює підтримку міських доріг у належному стані. Незважаючи на те, що в місті ремонтуються дороги, облаштовуються нові перехрестя, встановлюються нові дорожні знаки, залишається відкритим питання щодо зменшення аварійності на дорогах загального користування, а особливо на перехрестях шляхом їх ремонту, реконструкції та впровадженні нових засобів регулювання дорожнього руху. Одним із таких перехресть, що потребує реконструкції та зміни часу роботи світлофорної сигналізації є перетин вулиці «проспект Миру» та вулиці Гетьманської.

Аналіз досліджень і публікацій. При дослідженні складних транспортних систем і їх підсистем, у якості однієї з яких можна розглядати окрему транспортну розв'язку, виникають численні завдання, що вимагають оцінки кількісних характеристик і якісних закономірностей процесів функціонування таких систем [1,2,3]. Обмеженість можливостей експериментального дослідження великих транспортних систем унеможливило їх повне проектування, впровадження і експлуатацію без використання методики моделювання, яка дозволяє в відповідній формі представити процеси функціонування систем і опис перебігу цих процесів з допомогою математичних моделей [4,5,6]. Для врахування якомога більшої кількості факторів, що впливають на стохастичний транспортний процес складних систем, подальшої реалізації алгоритмів управління дорожнім рухом, використовується метод комп'ютерного імітаційного моделювання, що реалізується за допомогою відповідного програмного забезпечення [7,8,9]. Програми імітаційного моделювання вулично-дорожньої мережі мають можливість підтримки різних математичних транспортних моделей, у тому числі детермінованих, із стійким причинно-наслідковим зв'язком між станами транспортного потоку, і стохастичних, що використовують апарат теорії ймовірностей [3,6,9].

Постановка задачі. Метою роботи є розробка рекомендацій щодо підвищення безпеки руху на одному з міських транспортних вузлів за допомогою методу комп'ютерного імітаційного моделювання.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

визначити інтенсивності вхідних потоків руху і розподіл транспортних та пішохідних потоків у вузлі вулично-дорожньої мережі шляхом натурних спостережень;

розробити імітаційну модель перехрестя регульованого світлофорною сигналізацією;

провести аналіз статистичних залежностей, отриманих за результатами комп'ютерного моделювання, у вигляді довжин черги транспортних засобів, що утворюються, часу проїзду ними відповідних маршрутів у різні періоди доби та дні тижня;

розробити рекомендації щодо реконструкції досліджуваного перехрестя та вдосконалення режиму його світлофорного регулювання.

Викладення матеріалу і результати. Вулиця «проспект Миру» з'єднує дві крупні транспортні розв'язки у місті Кривий Ріг - площу Визволення й площу ім. Горького. Одним з перехресть, яке відноситься до даної магістралі є Х-подібне перехрестя «вулиця «пр. Миру» - вулиця Гетьманська». Це перехрестя водії часто використовують для зменшення часу проїзду маршруту між Саксаганським та Центрально-міським районами міста, минаючи кільце 95-го кварталу (площу ім. Горького).

Автодорога проспекту Миру має шість смуг для руху (по три у кожному напрямку), вулиця Гетьманська характеризується двома смугами з одного боку від проспекту (по одній в кожному напрямку), чотирма смугами - з іншого (три в одному і одна в протилежному напрямку) (рис. 1,2). Рух на перехресті регулюється світлофором, але навіть при цьому концентрація дорожньо-транспортних пригод, за статистикою органів контролю за безпекою руху, на ньому велика.

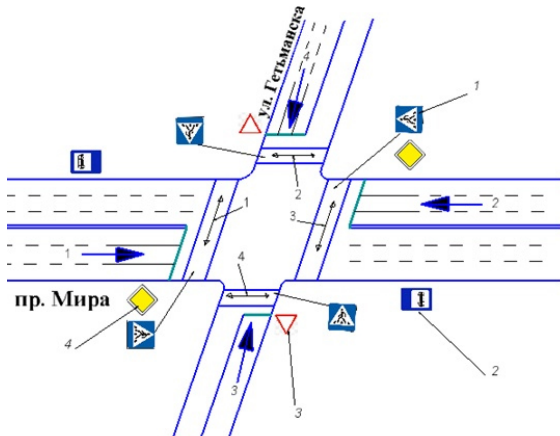


Рис. 1. Перехрестя вулиць Гетьманська і проспект Миру: 1, 2, 3, 4 → - вхідні транспортні потоки; 1, 2, 3, 4 ↔ - рух пішоходів через перехрестя; 1 - знак 5.19.1 - 5.19.2 «пішохідний перехід»; 2 - знак 5.16 «місце зупинки автобуса і (або) тролейбуса»; 3 - знак 2.1 «дати дорогу»; 4 - знак 2.1 «головна дорога»

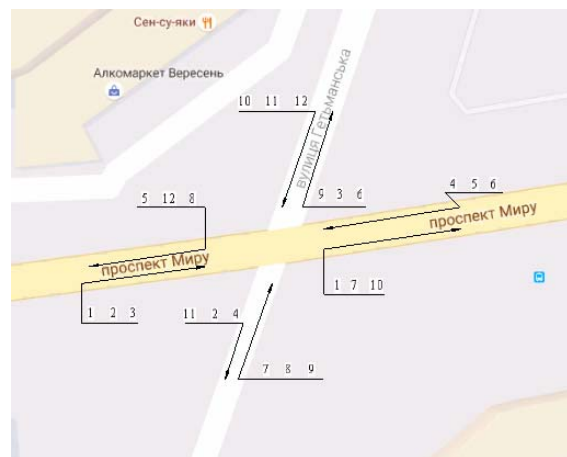


Рис. 2. Маршрути руху транспортних потоків на перехресті вул. Гетьманська і проспект Миру: 1 - від Центрально-міського ринку по вул. «пр. Миру» до Екоспецтранс по вул. Гетьманська; 2 - з південної частини міста по вул. «пр. Миру»; 3 - від Центрально-міського ринку по вул. «пр. Миру» до АЗС RLS по вул. Гетьманська; 4 - від кільця 95-го кварталу по вул. «пр. Миру» до Екоспецтранс по вул. Гетьманська; 5 - з північної частини міста по вул. «пр. Миру»; 6 - від кільця 95-го кварталу по вул. «пр. Миру» до АЗС RLS по вул. Гетьманська; 7 - від Екоспецтранс по вул. Гетьманська до Центрально-міського ринку по вул. «пр. Миру»; 8 - зі східної частини міста по вул. Гетьманська; 9 - від Екоспецтранс по вул. Гетьманська до кільця 95-го кварталу по вул. «пр. Миру»; 10 - від АЗС RLS по вул. Гетьманська до Центрально-міського ринку по вул. «пр. Миру»; 11 - з західної частини міста по вул. Гетьманська; 12 - від АЗС RLS по вул. Гетьманська до кільця 95-го кварталу по вул. «пр. Миру»

Шляхом натурних спостережень було визначено, що через перехрестя в окремих напрямках в середньому рухається більше 800 автомобілів за годину, що призводить до виникнення заторів, значно збільшуючи час проїзду транспортних засобів по певній ділянці дороги [10,11].

Крім інтенсивності транспортних потоків, за допомогою натурних спостережень визначені інтенсивності пішохідних потоків, які в середньому складають 100 осіб на годину. Оскільки для дослідження було обрано один із найнапруженіших регульованих перехресть міста,

також одним з основних параметрів, який був зафіксований в польових умовах, був час перемикання сигналів світлофорного регулювання. Числові значення вхідних параметрів показані у вигляді діаграм, таблиць і рисунків (табл. 1, рис. 3-6).

При більш детальному вивченні світлофорного регулювання на даному перехресті, було відзначено, що воно має 4 фази регулювання. Однак ефективним вважається світлофорний цикл, який складається з 3-х фаз, і в якому кожен такт має мінімально необхідну тривалість. Саме така структура світлофорного циклу здатна забезпечити безперебійний рух транспорту, відсутність пробок і зручність переходу проїзної частини пішоходами [1,2,12,13]. Також час світлофорного циклу не повинен перевищувати 120 с.

Час циклу світлофора становить 125 с. Тривале очікування водіями його дозволяючого сигналу виводить їх з психічної рівноваги, що в свою чергу, дуже негативно впливає на безпеку дорожнього руху.

На підставі отриманих даних при дослідженні перехрестя (інтенсивності транспортних і пішохідних потоків, циклограми світлофорної сигналізації) була побудована імітаційна модель перехрестя в програмі PTV Vissim [14,15].

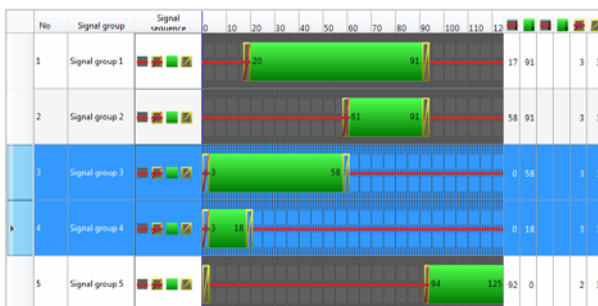


Рис. 3. Перша фаза: від кільця 95-го кварталу (в усіх напрямках)

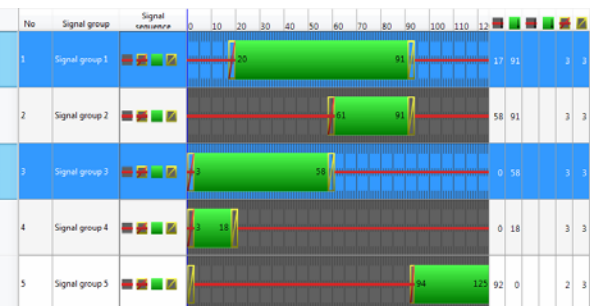


Рис. 4. Друга фаза: від кільця 95-го кварталу (прямо, направо), від Центрально-міського ринку (прямо, направо)

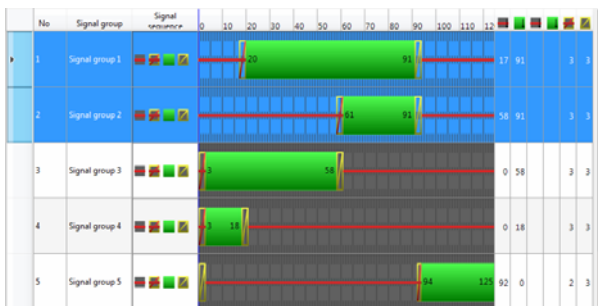


Рис. 5. Третя фаза: від Центрально-міського ринку (в усіх напрямках), від АЗС RLS (направо)

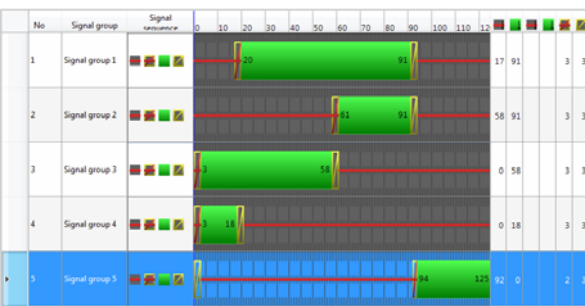


Рис. 6. Четверта фаза: від АЗС RLS (в усіх напрямках), від Екоспецтранс (в усіх напрямках)

Після проведення імітації було сформовано списки результатів, на основі яких побудовані графіки часу проїзду транспортними засобами окремих напрямів й довжини черги в різний час доби (рис. 7, рис. 8).

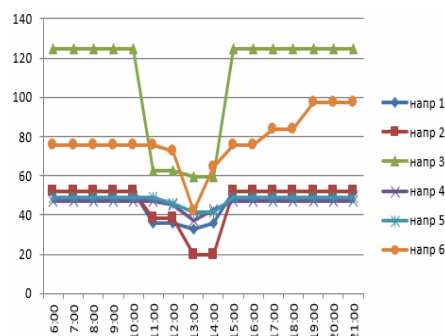


Рис. 7. Максимальний час проходження ділянок перехрестя транспортними засобами

Максимальний час проходження по напрямкам 1 і 3 спостерігається в «час пік» з 6:00 до 10:00 та з 15:00 до 20:00 (рис. 7).

Також з отриманих графіків слідує, що по напрямку 12 (Від АЗС RLS по вулиці Гетьманська до кільця 95-го кварталу по вулиці «пр. Миру») спостерігається найбільший час проходження маршруту, а саме 250 с.

За результатами моделювання встановлено (рис. 8), що за напрямками 1 і 3 (з південної частини міста по вулиці «пр. Миру» та зі східної частини міста по вулиці Гетьманська відповідно) утворюється значна черга транспортних засобів.

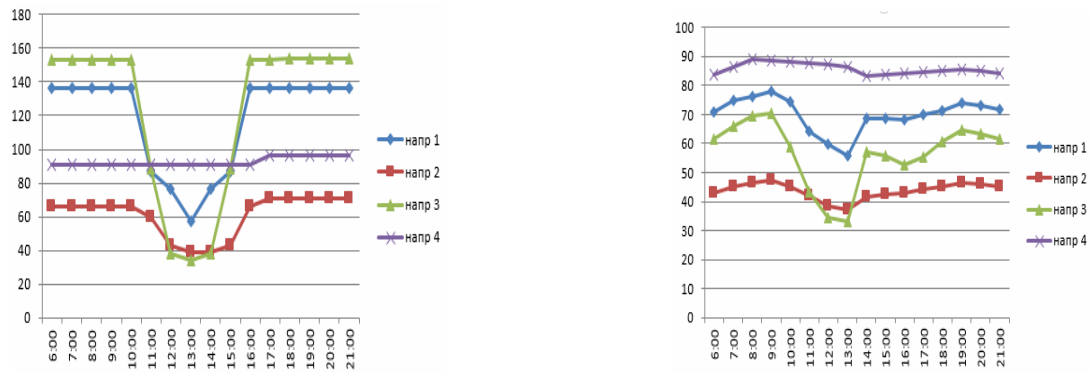


Рис. 8. Середня и максимальна довжина черги транспортних засобів

У напрямку 1 (з південної частини міста по вулиці «пр. Миру») така черга (139 м) обумовлена необхідністю зупинки транспортних засобів перед перехрестям і недостатнім часом включення зеленого сигналу (30 с) для закінчення водіями маневру.

У напрямку 3 (зі східної частини міста по вул. Гетьманська) черга (156 м) утворюється через недостатню ширину проїзної частини (3,5 м).

Проаналізувавши отримані показники, було прийнято рішення щодо зміни циклу світлофорної сигналізації та реконструкції даного перехрестя. Реконструкція перехрестя включала розширення проїзної частини по вул. Гетьманська від «Екоспецтранс» на підході до перехрестя на 2 м, для забезпечення 2-х смугового руху транспортних засобів (по 2,75 м на смугу).

Зміна часу циклу світлофорної сигналізації передбачала наявність 3-х фаз регулювання (рис. 10-12).



Рис. 9. Розширення проїзної частини по вул. Гетьманська

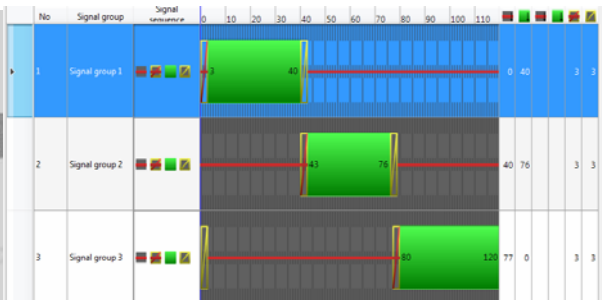


Рис. 10. Перша фаза: від Центрально-міського ринку (в усіх напрямках)

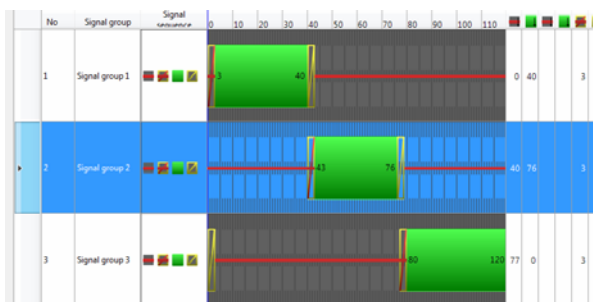


Рис. 11. Друга фаза: від кільця 95-го кварталу (в усіх напрямках)

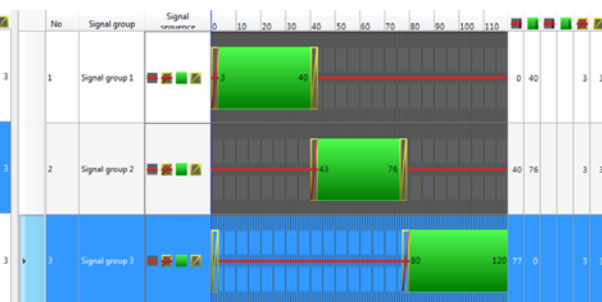


Рис. 12. Третя фаза: від АЗС «RLS» та від «Екоспецтранс» (в усіх напрямках)

У результаті моделювання з урахуванням представлених рекомендацій, побудовано нові залежності тривалості проїзду напрямів та довжин черг транспортних засобів, що утворюються на перехресті у разі впровадження запропонованих заходів (рис.13,14).

Із отриманих залежностей випливає, що з впровадженням описаних заходів, з'являється можливість значно зменшити час руху транспортних засобів (на 130 с) на одному з найбільш перевантажених маршрутів перехрестя (напрямок 2).

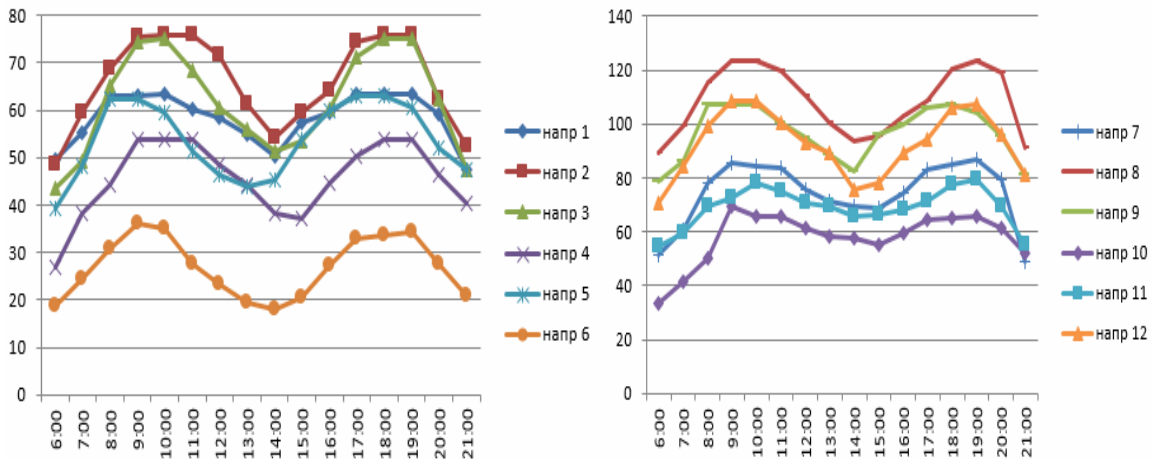


Рис. 13. Максимальний час проходження транспортними засобами ділянок перехрестя

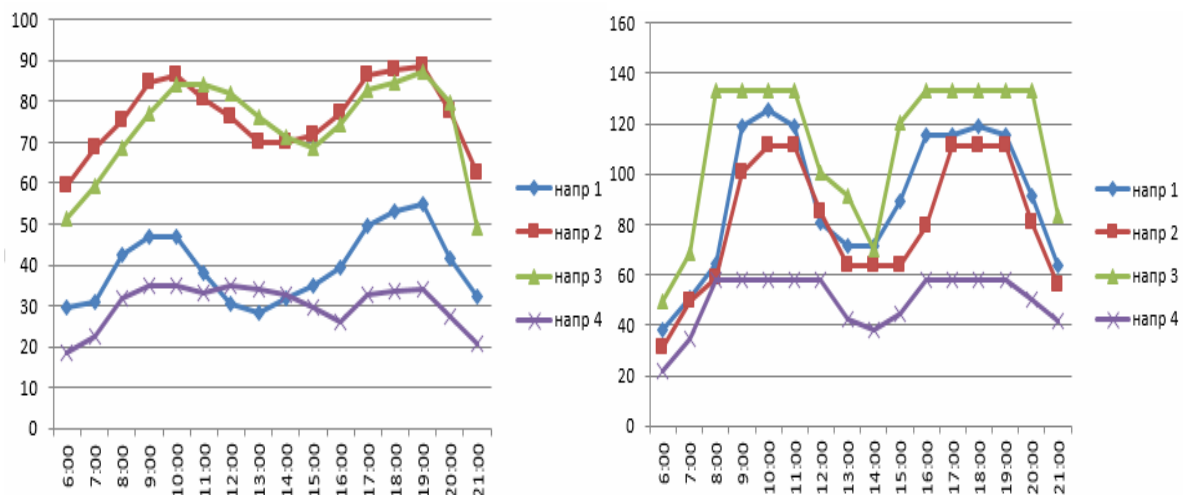


Рис. 14. Середня і максимальна довжина черги транспортних засобів

У напрямку 12 при цьому спостерігається ще й більше зменшення часу проїзду (на 140 с), що позитивно впливає на рух автомобілів і безпеку дорожнього руху.

Окрім скорочення часу проходження транспортними засобами ділянок перехрестя, також зменшується пов'язана з ним довжина черги: у напрямку 1 – на 14 м, у напрямку 3 – на 18 м.

Такі показники значно впливають на рух транспортних потоків через перехрестя, створюючи умови безпечного його проїзду.

Висновки та напрямлення подальших досліджень. Таким чином, проведенні дослідження транспортної розв'язки вулиці «пр. Миру» та вулиці Гетьманської у місті Кривому Розі дозволили розробити рекомендації щодо зменшення довжини черги транспортних засобів, яка утворюється у напрямках з південної частини міста по вулиці «пр. Миру» та зі східної частини міста по вулиці Гетьманська.

Основні результати роботи полягають у наступному:

на основі проведених натурних спостережень на досліджуваному перехресті визначено інтенсивність транспортних потоків, яка складає більше 800 автомобілів за годину, та пішохідних потоків (в середньому 100 осіб на годину);

отримані статистичні показники потоків руху транспорту та пішоходів слугували вхідними параметрами для розробки комп'ютерної імітаційної моделі перехрестя;

результати моделювання дозволили визначити проблемні ділянки перехрестя з максимальною довжиною черги транспортних засобів (156 м) та часу проїзду (250 с);

для підвищення пропускної здібності проблемних ділянок перехрестя рекомендовано розширення проїзної частини по вул. Гетьманська від «Екоспецтранс» на підході до перехрестя на 2 м, для забезпечення 2-х смугового руху транспортних засобів (по 2,75 м на смугу), та розроблено нову 3-х фазну циклограму режиму світлофорного регулювання;

результати перевірки методом імітаційного моделювання запропонованих змін у роботі світлофорної сигналізації та розширення проїзної частини перехрестя дозволяють стверджувати, що з'являється можливість скоротити час руху транспортних засобів з південної частини міста по вулиці «пр. Миру» на 130 с, що є значним показником, та зменшити довжину затору у напрямку з південної частини міста по вул. «пр. Миру» на 14 м, й зі східної частини міста по вулиці Гетьманська – на 18 м.

Список літератури

1. Кликовштейн Г. И. Организация дорожного движения: Учеб. для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. / Кликовштейн Г. И., Афанасьев М. Б., – М: Транспорт, 2001 – 247 с.
2. Пальчик А.М. Организация дорожного руху: навч. посіб. / – К.: НТУ, 2011. – 228 с.
3. VISSIM Simulation Based Expressway Exit Control modes Research / Zhu Zhandong, Chen Shaohui, Yang Yanquan та ін. // Procedia Engineering. – 2016. – №137. – P. 738 – 746.
4. Сисдук В.А. Возможности использования программы имитационного моделирования PTV VISSIM для подготовки специалистов по направлениям "Транспортные технологии" и "Автомобильный транспорт" [Электронный ресурс] / В. А. Сисдук, А. А. Богачевский, В. Ю. Шумский // Інформаційні технології і засоби навчання. – 2016. – Т. 52, Вип. 2. – С. 93–107. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ITZN_2016_52_2_11
5. Применение программы PTV VISSIM для имитационного моделирования улично-дорожной сети при подготовке специалистов в области автомобильного транспорта [Электронный ресурс] / В.А. Сисдук, А.А. Богачевский, В. Ю. Шумский // Матеріали Всеукраїнської науково-методичної Інтернет-конференції «Освітні тенденції розвитку сучасної вищої школи: проблеми методології навчання». – Х.: ХНАДУ, 2016 р. – С.199–202. – Режим доступу: <http://dl.khadi.kharkov.ua/course/view.php?id=207>
6. Khaled Shaaban. Comparison of SimTraffic and VISSIM Microscopic Traffic Simulation Tools in Modeling Roundabouts / Khaled Shaaban, Inhi Kim. // Procedia Computer Science. – 2016. – №52. – P. 43 – 50.
7. Бекмагамбетов М. М. Анализ современных программных средств транспортного моделирования / М. М. Бекмагамбетов, А. В. Кочетков // Исследования, конструкции, технологии. – 2012. – №6 (77). – С. 25–34.
8. Per Strömgren. A model for traffic simulation of flared rural road intersections / Per Strömgren, Johan Olstamb, Andreas Tapanib. // 4th International Symposium of Transport Simulation-ISTS'14, 1-4 June 2014, Corsica, France. – 2015. – P. 239 – 258.
9. Amudapuram Mohan Rao Microscopic simulation to evaluate the traffic congestion-mitigation strategies on urban arterials / Amudapuram Mohan Rao, K. Ramachandra Rao // Euro-pean Transport \ Trasporti Europei (2015) Issue 58 – ISSN 1825-3997 – Trieste, 2015 –P. 2-20.
10. Пальчик А.М. / Транспортні потоки: [монографія]. – К.: НТУ, 2010. – 171с.
11. Организация дорожного движения[Текст] : учебно-практическое пособие / Н.С. Поготовкина. – Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2015. – 64 с.
12. Литвин В. В. Имитационное моделирование транспортных потоков с помощью программного обеспечения PTV VISION VISSIM / В. В. Литвин, А. Н. Мирошниченко // Сборник научных трудов международной конференции «Современные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2014» – Днепропетровск, 2014 – С. 251 – 260.
13. Правила дорожного руху України – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://pdd.ua/ua>.
14. A+S. Краткое руководство по выполнению проектов в PTV VISSIM 6, 2014 – 76 с.
15. VISSIM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ptv-vision.ru/produkty/vissim> (in English)