

УДК 656.051
UDC 656.051Холодова О.О.¹, Бугайова М.О.¹, Данець С.В.²*Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна¹
Харківський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України²*

ДОЦІЛЬНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ОДНОСТОРОННЬОГО РУХУ НА ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ МІСТ

Доведена актуальність проблеми організації дорожнього руху на вулично-дорожній мережі міст через постійне зростання автомобільного транспорту, що спричиняє затори, дорожньо-транспортні пригоди та забруднення атмосферного повітря. Все це погіршує економіку й якість життя, створюючи небезпеку для пішоходів. Досвід різних країн, включаючи Україну, підтверджує, що односторонній рух є одним із ключових заходів, здатним підвищити швидкість транспортних потоків, збільшити пропускну спроможність вулиць, знизити затори та аварійність. Проаналізовано вплив організації одностороннього руху на показники ефективності функціонування транспортної мережі.

Розглянуто конкретний приклад введення одностороннього руху на ділянці вулично-дорожньої мережі Індустріального району м. Харків. При цьому досліджені різні схеми руху транспортних засобів по ній та порівняні з існуючою. Запровадження одностороннього руху на двох паралельних вулицях Миру та Бібліка забезпечує значний соціальний ефект, а саме: зменшується кількість конфліктних точок у 2,5 рази, знижується коефіцієнт небезпеки в 1,4 рази та скорочується час реалізації транспортних кореспонденцій на 7%. Також встановлено вплив одностороннього руху на коефіцієнт відносної небезпеки перехрестя в залежності від конфігурації перехрестя.

Встановлено, що запровадження одностороннього руху є виправданим порівняно з існуючою організацією руху. Це підкреслює необхідність ширшого застосування цього заходу для зниження трафіку та підвищення безпеки руху.

Ключові слова: односторонній рух, вулично-дорожня мережа, програмне забезпечення, перехрестя, моделювання, критерій, транспортні кореспонденції.

ВСТУП

Проблеми з організацією транспортного руху на вулично-дорожній мережі (ВДМ) міст, такі як регулярні затори, часті дорожньо-транспортні пригоди (ДТП) та високий рівень забруднення атмосферного повітря, можуть виникати через недоліки в плануванні дорожньої інфраструктури. Це може включати недостатню кількість смуг для руху, відсутність розв'язок або незручні розвороти. Невірно налаштовані світлофори або їхня відсутність на ключових перехрестях також призводять до хаосу та небезпечних ситуацій. Недостатня кількість пішохідних переходів, неправильна організація або відсутність зон паркування, перевантаженість транспортом у години пік, нестача смуг для громадського транспорту та об'їзних доріг — все це знижує ефективність транспортної системи (зменшується пропускну спроможність (ПС) доріг). Для розв'язання цих проблем необхідні комплексні заходи, зокрема, покращення інфраструктури, модернізація світлофорів, впровадження інтелектуальних систем управління рухом та розвиток громадського транспорту. Введення одностороннього руху (ОР) також є одним з важливих заходів для покращення організації дорожнього руху (ОДР) в містах [1].

Запровадження ОР є дієвим способом зменшення заторів у центральних районах міст та підвищення рівня безпеки, але потребує уважного планування і врахування інтересів усіх учасників дорожнього руху. Це рішення добре відоме в містобудівній практиці під час будівництва автомагістралей. Вперше ОР було застосовано в 1906 р. у США в м. Філадельфія, а в 1907 р. його запровадили на кількох паралельних вулицях м. Нью-Йорк. Звідси використання ОР на двох паралельних вулицях є одним із найпоширеніших підходів, що поєднує кілька важливих методичних принципів [2,3].

Багаторазово підтверджений у різних країнах досвід, не виключаючи України, показує, що введення ОР забезпечує підвищення швидкості руху транспортних потоків (ТП), збільшення ПС вулиць, що має безпосередній та ефективний вплив на ліквідацію заторів та зменшення завантаженості вулиць рухом, а звідси і зменшення аварійності на ВДМ.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

ОР зазвичай застосовується на вузьких вулицях, проте існує багато прикладів його впровадження і на досить широких дорогах для підвищення ПС. Найчастіше ОР вводять на

магістральних вулицях, щоб зменшити ризик ДТП та скоротити кількість світлофорів, тим самим покращуючи загальну організацію руху [4].

Як правило, введення ОР надає наступні позитивні результати: ліквідуються затори на перехрестях; скорочуються випадки зустрічних (лобових) та бічних зіткнень транспортних засобів (ТЗ); скорочується кількість конфліктних точок, що особливо відчутно на перетинаннях; з'являється можливість дозволити тимчасову стоянку ТЗ хоча б на одній з крайніх смуг через збільшення їх кількості, працюючих в одному напрямку; знижуються ризики, пов'язані з паркуванням або зупинкою ТЗ; підвищується безпека руху в темний час внаслідок ліквідації засліплення водіїв світлом фар зустрічних ТЗ; полегшуються умови переходу пішоходами проїзної частини внаслідок чіткого координованого регулювання та спрощення їх орієнтування, через відсутність зустрічних ТП; починають більш раціонально використовуватись смуги руху проїзної частини, в першу чергу вузькі, та здійснюється принцип вирівнювання складу ТП на кожній з них; підвищується ефективність роботи світлофорних об'єктів внаслідок спрощення руху на перехрестях та різко поліпшуються умови координації світлофорного регулювання між ними; покращується рух транспорту в щільно забудованих районах, де розширення дороги може бути неможливим [1].

Однією з перешкод для впровадження ОР є суттєве ускладнення користування маршрутним пасажирським транспортом (МПТ) через збільшення відстані, яку пішоходам доводиться долати. Крім того, зростає пробіг ТЗ до місць призначення через віддаленість паралельних вулиць. Щоб забезпечити зручність під'їзду, ОР доцільно запроваджувати, якщо на відстані до 350 м є паралельна вулиця для руху в протилежному напрямку, а сполучні поперечні проїзди розташовані на відстані не більше 200 м. [4]. Тобто все залежить від геометричної схеми розташування вулиць. Ідеальний варіант - наявність прямокутної сітки вулиць. Неприятливою є радіально-кільцева структура, за якої відстані між сусідніми радіальними магістралями за мірою віддалення від центру різко збільшуються. Тому в інтересах пасажирів МПТ при переході на ОР на мережі вулиць із радіально-кільцевою схемою в ряді випадків зберегти зустрічний рух тролейбусів і автобусів, здійснюючи таким чином неповний (частковий) ОР. Але переваги ОР настільки значні, що в практиці оперативної ОДР доводиться вдаватися до нього в деяких випадках хоча б тимчасово за будь-якої схеми ВДМ (наприклад, під час масових спортивних змагань, демонстрацій, при ремонті доріг). На деяких міських магістралях ТП в різні години доби набувають певного напрямку руху (наприклад, масовий рух ТЗ в центр міст вранці), тому для пропуску явно переважаючих ТП виявляється доцільною організація реверсивного ОР [1].

Виникнення інших проблем ОР, таких як труднощі з орієнтацією водіїв і пішоходів у перші дні після впровадження нової схеми, а також підвищення швидкості транспорту, що може бути небезпечним на житлових вулицях, можна вирішити за допомогою належного контролю за рухом та всебічного інформування учасників дорожнього руху в період їхньої адаптації до нових умов [1].

Виходячи з вище зазначеного, вулиці переводять в односторонній режим заради кількох безперечних плюсів: зменшення конфліктних точок вдвічі, спрощення ОДР, наприклад, прості примикання провулків можна зробити безсвітлофорними, теоретичне підвищення безпеки для пішоходів, оскільки їм потрібно стежити лише за одним напрямком. Загальним результатом стає збільшення ПС та швидкості руху. Однак, щоб уникнути негативних наслідків (перепробіги, підвищення завантаження на сусідніх вулицях) запровадження ОР, необхідно паралельну дорогу також переводити в односторонній режим, але для руху вже у зворотний бік [5].

ОР є досить популярним у містах Європи і широко використовується для покращення ОДР. Багато європейських міст мають історичні центри з вузькими вулицями, що не пристосовані для двостороннього руху сучасних автомобілів, тому ОР допомагає вирішити ці проблеми.

Причиною популярності ОР в Європі є те, що у багатьох європейських містах, таких як Париж, Рим, Амстердам, Лісабон, збереглася історична забудова з вузькими вулицями, які неможливо розширити. ОР тут дозволяє краще використовувати доступний простір і зменшити затори. Слід зазначити, що у європейських містах безпека на дорогах є пріоритетом, і ОР зменшує кількість точок конфлікту між автомобілями, пішоходами та велосипедистами, що знижує ризик ДТП. ОР дозволяє виділити більше місця для пішохідних зон і велосипедних доріжок, що особливо важливо в містах, які активно просувають екологічний транспорт і пішохідну мобільність. Наприклад, у Копенгагені та Амстердамі велоінфраструктура дуже розвинена завдяки продуманій організації руху. ОР сприяє плавнішому і швидшому руху транспорту, що допомагає зменшити затори в багатолюдних районах, особливо в центрі міст. У Лондоні, наприклад, односторонні вулиці допомагають впоратися з інтенсивним трафіком у центральній частині міста. Скорочення заторів і упорядкування руху сприяє

зменшенню шкідливих викидів в атмосфері, що є важливим для збереження чистоти повітря в щільнозаселених міських районах.

Прикладами європейських міст з успішним використанням ОР є: м. Париж, де односторонні вулиці в центрі міста допомагають впоратися з трафіком і дають можливість розширювати пішохідні зони; м. Барселона, де ОР активно використовується в районі "суперквартали" (superblocks), в якому автомобільний рух обмежено на певних ділянках для сприяння пішоходам і велосипедистам; м. Венеція, де через специфічну структуру міста, ОР є необхідним для забезпечення ефективного пересування транспорту на вузьких вулицях. Тож, ОР у Європі є важливим інструментом управління трафіком і підвищення безпеки, особливо в містах з історичною забудовою. Це популярне рішення, яке дозволяє ефективніше використовувати простір, сприяє розвитку екологічного транспорту та поліпшенню якості життя міських мешканців. І хоча ОР часто використовується для покращення ОДР в Європі, є приклади, коли його впровадження викликало негативні наслідки або спротив громадськості. Причини невдач можуть включати недостатнє планування, погану комунікацію з мешканцями або нехтування особливостями конкретних районів. Наприклад, у м. Флоренція, як і в багатьох інших італійських містах з історичними центрами, введення ОР мало на меті зменшити затори й покращити доступ для пішоходів та туристів. Однак підприємці, зокрема власники магазинів і ресторанів, зіткнулися з проблемами через зниження доступності для автомобілістів і потенційних клієнтів. Це призвело до зменшення доходів і негативної реакції місцевого бізнесу. В м. Брюссель в деяких районах спроби впровадити ОР для зменшення заторів призвели до протилежного результату. Через недостатній аналіз ТП частина вулиць, де рух був обмежений, створила додаткове навантаження на інші дороги, що спричинило серйозні затори в прилеглих районах. Це викликало критику з боку місцевих жителів і водіїв. У м. Барселона запровадження так званих superblocks включало введення ОР та обмеження руху автомобілів у певних частинах міста для створення просторів для пішоходів і велосипедистів. Незважаючи на позитивні екологічні та соціальні результати, частина мешканців виступала проти цього проекту через незручності, викликані складністю доступу до власних домівок і збільшенням часу поїздки. В м. Осло введення ОР на центральних вулицях, поряд із заборонаю паркування, було частиною стратегії зменшення автомобільного трафіку і стимулювання пішоходів. Це викликало суперечки серед бізнесів та місцевих жителів, які заявляли, що такі заходи ускладнили доступ до центрів комерції та призвели до скорочення клієнтів. В м. Гамбург введення ОР на деяких центральних вулицях призвело до змін у ТП, через що в прилеглих районах спостерігалось збільшення заторів і забруднення повітря. Деякі жителі та екологічні організації висловлювали занепокоєння через перенаправлення трафіку на інші вулиці, що вплинуло на житлові райони. Негативні приклади впровадження ОР в Європі зазвичай виникають через недостатнє планування та аналіз ТП і впливу на прилеглі райони; незручності для мешканців і бізнесів, особливо у випадках, коли доступ до важливих об'єктів ускладнюється; слабку комунікацію з громадськістю – якщо мешканці не розуміють причин або не погоджуються з рішенням, це може призвести до масових протестів. Для успішного впровадження необхідно ретельно враховувати всі аспекти транспортної системи і потреби жителів.

ОР активно використовується і в багатьох містах України. У Києві ОР застосовується на багатьох вулицях, особливо в центральних районах міста, де висока щільність забудови й вузькі вулиці (вул. Січових Стрільців (від Львівської площі до Полтавської) — введення ОР допомогло зменшити затори та полегшити рух транспорту в цьому щільнозаселеному районі; вул. Антоновича — на ній було впроваджено ОР для оптимізації руху в центральній частині міста). М. Львів активно використовує ОР у своєму історичному центрі, де вузькі вулиці ускладнюють рух двостороннього транспорту (вул. Личаківська — один з основних транспортних коридорів Львова, де впровадження ОР на частині вулиць допомогло покращити потік транспорту; центральна частина міста — ОР використовується для зменшення транспортного навантаження та забезпечення більш комфортних умов для пішоходів). В м. Одеса через вузькі вулиці в історичній частині міста також спостерігалися проблеми з рухом, тож ОР був впроваджений на кількох ключових вулицях (вул. Італійська - ОР допоміг зменшити навантаження на вузькі вулиці, що дозволило зробити рух транспорту більш організованим, Приморський бульвар — ОР впроваджений для зменшення кількості заторів і покращення доступу до туристичних об'єктів). В м. Харків також застосовуються односторонні вулиці в центральній частині міста (вул. Чернишевська, вул. Алчевських, центральні вулиці навколо пл. Свободи), що дозволяє краще організувати ТП. У м. Дніпро ОР застосовується на окремих ділянках для полегшення руху в щільнозаселених районах і розвантаження вузьких вулиць (вул. Яворницького — введення ОР допомогло уникнути транспортного колапсу в центральній частині

міста). Тобто, ОР в Україні використовується для покращення дорожньої інфраструктури у великих містах з метою зниження заторів, підвищення безпеки та оптимізації ТП. Цей захід особливо актуальний у містах з історичною забудовою та вузькими вулицями, де двосторонній рух викликає труднощі.

Однак, є приклади негативного впровадження ОР в містах України. Наприклад, в м. Суми в 2019 р. влада ухвалила рішення організувати ОР на вул. О. Аніщенка (від перехрестя з вул. Покровською в бік вул. Петропавлівської до перехрестя з вул. Г. Кондратьєва) та по пров. О. Береста (від його перехрестя з вул. Г. Кондратьєва в бік Першотравневої до перехрестя з вул. Шишкарівською) [6]. Зробити це одразу не дозволив брак коштів, однак через рік відповідні дорожні знаки все ж поставили. Тоді, мер Сум сумнівався в необхідності такого кроку, а директор КП «Шляхрембуд» О. Вегера пояснював, що ці вулиці перетворилися не на проїжджу частину, а на суцільну стоянку. Тому й була пропозиція дорожників, поліції та містян про ОР. У такий спосіб вони залишили парковки й уникнули заторів на цих дорогах. Однак одразу ж після введення ОР мешканці міста зареєстрували онлайн-петицію проти такого рішення - з вимогою повернути на ці вулиці двосторонній рух. Місцеві жителі вважали зазначене в рішенні обґрунтування, що воно нібито було викликане необхідністю забезпечити безпечні та комфортні умови для учасників дорожнього руху, а також з метою захисту життя і здоров'я громадян, таким, що не відповідає дійсності. В петиції зазначалось, що двосторонній рух за вказаними напрямками ніколи не створював жодної небезпеки, не порушував комфорт і не спричиняв ДТП. Зазначені ділянки мають ширину, що дає змогу безперешкодно роз'їхатися двом ТЗ навіть у разі припаркованих уздовж узбіччя ТЗ, а невелика завантаженість цих ділянок не потребує використання кількох смуг в одному напрямку. А ОР якраз не запобігає, а навпаки, створює небезпечні та некомфортні умови для мешканців району та учасників дорожнього руху, додатково навантажує інші перпендикулярні вулиці та несе небезпеку, оскільки багатьом мешканцям цього району тепер необхідно долати для об'їзду значну відстань замість кількох метрів. Виходить, значна кількість водіїв прогнозовано ігноруватиме такий ОР. Однак відповідні дорожні знаки все ж залишили.

Досвід, багаторазово підтверджений у різних країнах, у тому числі і в нашій, показує, що введення ОР забезпечує підвищення швидкості ТП та збільшення ПС вулиць. Типовими в цьому відношенні є опубліковані в США дані про збільшення ПС вулиць із шириною проїзної частини близько 13 м при введенні ОР на двох паралельних вулицях із різними варіантами режиму стоянки автомобілів. Звідси система ОР є одним із способів підвищення ПС міської дорожньої мережі та має безпосередній та ефективний вплив на ліквідацію заторів та зменшення завантаженості вулиць рухом.

При запровадженні ОР необхідно враховувати структуру відповідної дорожньої мережі, відстані між спареними дорогами, ширину проїзної частини та умови світлофорної сигналізації. Тобто слід розглядати такі умови [7]:

1. Наявність паралельно розташованих доріг. ОР бажано застосовувати на спарених паралельних дорогах, розташованих на відстані 150-200 метрів одна від одної, які мають однакові початкові та кінцеві точки, а також однакову ширину проїзної частини. Якщо відстань між паралельними дорогами перевищує вищезгадане, то альтернативний маршрут до пункту призначення може бути досить довгим, що призведе до підвищення інтенсивності руху.

2. Дорожня мережа у вигляді ґрат або з паралельним розташуванням доріг. Якщо ОР застосовується на головних дорогах, розташованих на великій відстані один від одного, то на сусідніх вузьких вулицях будуть утворюватися затори. Тому відстань між парними дорогами не має перевищувати 30 метрів.

3. Вулиця занадто вузька для руху в обох напрямках взагалі або через паркування автомобілів, а учасники дорожнього руху не можуть легко координувати свою діяльність.

4. Висока інтенсивність пішохідного та автомобільного руху, тому потрібно розділити пішохідні та ТП для забезпечення безпеки вуличного руху.

5. Складна форма перетинів, яка не дозволяє влаштування на них світлофорів.

Щодо закордонних наукових праць, то питання ОР розглядаються дуже рідко. В основному вони стосуються дослідження ефективності запровадження ОР на паралельних вулицях обраного міста, як організаційного заходу щодо підвищення безпеки дорожнього руху на ВДМ. В результаті вивчення відповідної літератури та проведення натурних спостережень розроблено низку критеріїв: геометричні схеми ВДМ, інтенсивність руху на найбільш завантажених перехрестях (має становити не менше 500 авт/год.), кількість смуг руху (не менше 2 у кожному напрямку); наявність паралельно

проїжджої вулиці на відстані до 350 м; виділення спеціальної смуги для МПТ, за якими можна визначати ефективність цього заходу [7]. В роботах зазвичай виявляється залежність ефективності впровадження ОР від зміни вулиць, кількості смуг руху щодо одного напрямку, від віддаленості паралельних вулиць одна від одної. Описуються обґрунтування даних пропозицій і з погляду пасажирів та з погляду автовласників. На основі проведених досліджень на ВДМ міста в зазначеній роботі, після організації ОР на центральних вулицях затримки транспорту зменшуються до 40%, відбувається зниження числа ДТП на 18-60%, навіть за одночасного підвищення інтенсивності руху. Ефективність організації ОР демонструє і збільшення ПС на 25-50%. В роботі [7] наводяться плани з поліпшення ОР в м. Баку, а в публікації [8] взагалі поверхнево розглянуті основні переваги та недоліки ОР і за підсумками проведених натурних досліджень визначено, що ОДР, яка склалася, задовольняє поточній потребі, тому необхідності організації ОР на додаткових ділянках ВДМ немає. В роботі [9] для покращення використання доріг-відгалужень та зменшення заторів на магістральних дорогах запропоновано оптимізаційний підхід організації ОР з точки зору транспортного навантаження та рівності доріг. Дворівнева модель програмування встановлюється з цілями частки, коли насиченість дороги перевищує очікувану насиченість, і індексу об'їзду ТЗ. Верхня модель спрямована на отримання мінімального значення цілей шляхом оптимізації одностороннього трафіку, а нижня використовує модель рівноваги для розподілу потоку трафіку. Потім змодельований алгоритм для вирішення дворівневої моделі. На кожному кроці ітерації для розвороту вибирається одна з ділянок дороги з відгалуженнями з високим навантаженням. Чисельний результат показує, що організація ОР може зменшити перенасичену частину ділянки дороги, однак зі збільшенням частки індексу об'їзду потенційний ступінь зниження поступово зменшується.

Вітчизняні розробки з питань організації ОР майже відсутні. В роботі [10] зазначається, що при вирішенні проблеми ефективного функціонування ВДМ, не змінюючи існуючу забудову міста, із забезпеченням максимального рівня безпеки, слід застосовувати методи ОДР, серед яких автори згадують ОР. При цьому не відносять його до найбільш ефективного, а працюючи над удосконаленням методики моделювання звертають увагу на те, що, якщо у вихідному графі ВДМ на всіх його ребрах задати двосторонній рух транспорту, то процес моделювання зациклюється. Цього можна уникнути, якщо двосторонній граф розчленити на графи з одnobічними зв'язками на ребрах.

Найчастіше ОР згадується в наукових розробках вчених, пов'язаних з визначення параметрів мережі міських пасажирських перевезень [11] або при оцінці впливу пріоритетного руху МПТ загального користування на якість обслуговування пасажирів [12]. Але цей напрям досліджень не стосується питань підвищення безпеки та ефективності ОДР.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є аналіз впливу організації ОР на показники ефективності функціонування транспортної мережі. В якості об'єкту дослідження буде обрано дорожній рух на ділянці ВДМ міста. Для реалізації мети необхідно провести дослідження дорожніх умов та параметрів транспортних і пішохідних потоків, на основі яких стане можливим розробити імітаційні транспортні моделі досліджуємої ділянки ВДМ у програмному середовищі PTV Vision VISUM [13].

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Наочним прикладом реалізації такого методу ОДР може бути введення ОР в Індустріальному районі м. Харків, а саме по вул. Бібліка та вул. Миру, де виконуються усі умови його введення (див. рис. 1): ВДМ з паралельним розташуванням доріг; відстань між вулицями з ОР до 350 м; обидві вулиці занадто вузькі для руху в обох напрямках взагалі та через паркування автомобілів; висока інтенсивність пішохідного руху; відстань між спареними дорогами не перевищує 200 м; існує можливість в кінцевих пунктах цих вулиць забезпечити безпечний перехід від ОР до двостороннього руху; вулиці добре вписуються в транспортну схему району міста; зберігається безперешкодний рух МПТ.

Нами запропоновано дослідити три варіанти ОДР на досліджуваній ділянці ВДМ: 1 варіант – існуючий; 2 варіант – введення ОР по вул. Бібліка в бік центра міста та по вул. Миру в бік Роганського житлового масиву (кільцевий рух на перехресті вул. Бібліка – вул. Миру); 3 варіант – введення ОР по вул. Миру в бік центра міста та по вул. Бібліка в бік Роганського житлового масиву (кільцевий рух на перехресті вул. Бібліка – вул. Миру).

Для вибору оптимальної схеми організації ОР постала необхідність для спрощення розрахунків використати програмне забезпечення PTV Vision Visum. На попередньому етапі нами зібрані усі дані (транспортна пропозиція), які необхідні для моделювання за допомогою програмного забезпечення PTV Vision Visum, а саме інфраструктура систем транспорту, що включені до транспортної моделі.

Після завантаження карти міста, а саме досліджуємої ділянки з позначенням вузлів, перегонів (див. рис. 2), розбиваємо її на "Транспортні райони" (zones) з урахуванням принципів транспортного мікрорайонування [14], які є початковими та кінцевими пунктами транспортного руху. Схема ВДМ при моделюванні на рисунку 2.2 має дещо спрощений вигляд. У транспортній моделі кожен транспортний район зведений до центру тяжіння, який через примикання пов'язаний із ВДМ. Межі транспортних районів показують просторове положення транспортного району, проте вплив на розподіл транспорту надає лише положення його центра (див. рис. 3).

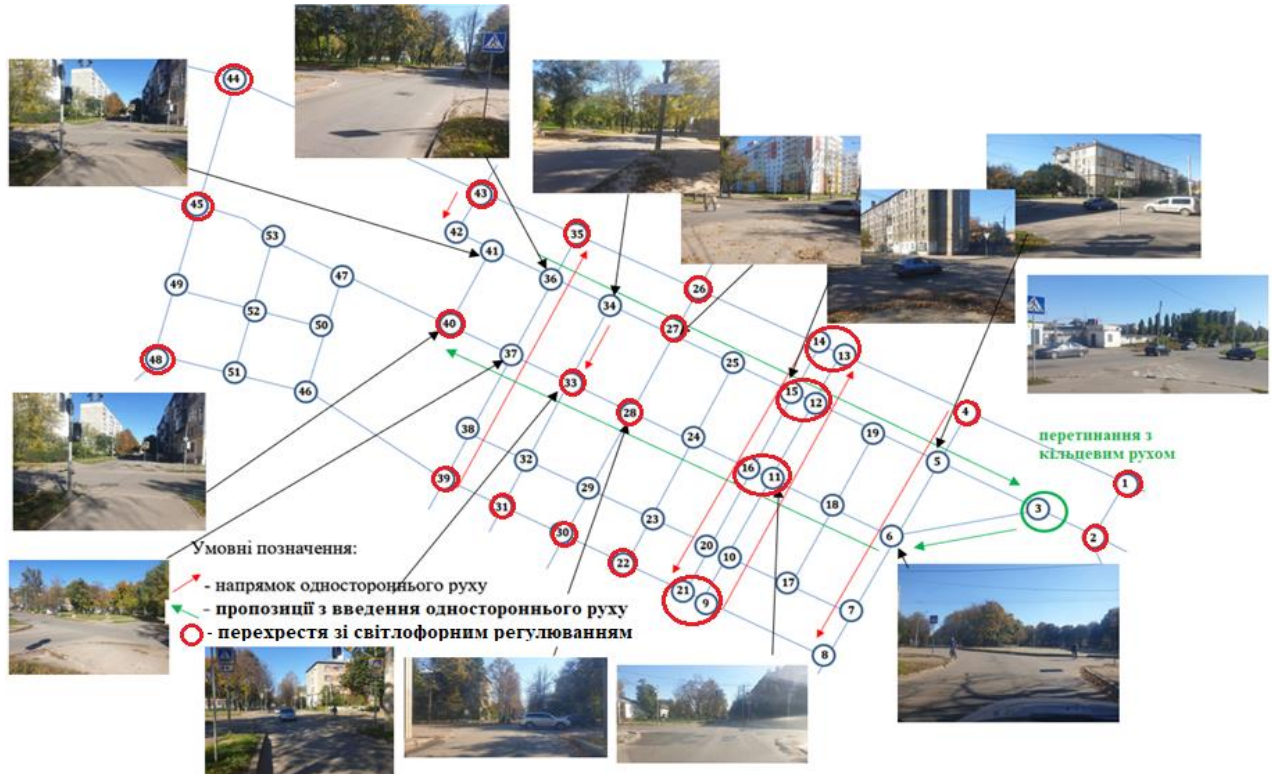


Рисунок 1 – Фрагмент графу ВДМ Індустріального району м. Харків

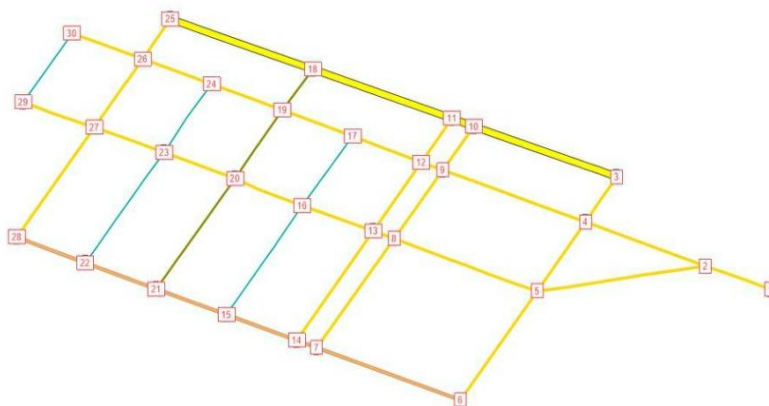


Рисунок 2 – Схема ВДМ в програмному забезпеченні PTV Vision Visum

Далі була побудована модель транспортного попиту, де визначаються джерела та цілі транспортного руху, вводяться параметри транспортної рухливості населення, формуються матриці кореспонденцій за видами транспорту та цілями здійснення транспортних кореспонденцій. Ємності транспортних вузлів визначаються шляхом натурних спостережень для 30 перехресть, які є центрами транспортних районів.

На основі отриманих даних за методикою в [15] нами отримана матриця транспортних кореспонденцій, яка заноситься в програмне забезпечення PTV Vision Visum (див. рис. 4). Далі

задається порядок розрахунку витрат часу на проїзд транспортної мережі з урахуванням ПС ділянок, швидкості руху, режимів роботи технічних засобів регулювання та матриці кореспонденцій.



Рисунок 3 – Фрагмент розділення схеми ВДМ на транспортні райони

Редактор матриці (Матриця 1 new)

Имя	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Сумма	765.00	8.00	997.00	2.00	4.00	594.00	5.00	4.00	2.00	0.00	0.00	0.00	2.00	13.00	18.00	2.00	5.00	0.00	2.00	6.00	9.00	5.00	4.00	4.00	664.00	5.00	2.00	475.00	213.00	81.00
1	512.00	100.00	1.00	129.00	0.00	1.00	77.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	3.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	89.00	1.00	0.00	62.00	28.00	11.00
2	26.00	5.00	0.00	7.00	0.00	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	0.00	3.00	1.00	1.00
3	782.00	152.00	2.00	196.00	1.00	1.00	118.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	3.00	4.00	1.00	1.00	2.00	1.00	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	136.00	1.00	1.00	94.00	42.00	16.00
4	26.00	5.00	0.00	7.00	0.00	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	0.00	3.00	1.00	1.00
5	18.00	4.00	0.00	5.00	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	2.00	1.00	0.00
6	466.00	92.00	1.00	119.00	0.00	0.00	71.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	2.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	81.00	1.00	1.00	57.00	25.00	10.00
7	31.00	6.00	0.00	8.00	0.00	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	0.00	4.00	2.00	1.00
8	15.00	3.00	0.00	4.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	2.00	1.00	0.00
9	11.00	2.00	0.00	3.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00
10	6.00	1.00	0.00	2.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
11	4.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	5.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
13	16.00	3.00	0.00	4.00	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	2.00	1.00	0.00
14	34.00	7.00	0.00	9.00	0.00	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.00	0.00	0.00	4.00	2.00	1.00
15	15.00	3.00	0.00	4.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	2.00	1.00	0.00
16	7.00	2.00	0.00	2.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
17	21.00	4.00	0.00	6.00	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	0.00	0.00	3.00	1.00	0.00
18	11.00	2.00	0.00	3.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00
19	6.00	1.00	0.00	2.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
20	15.00	3.00	0.00	4.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	2.00	1.00	0.00
21	34.00	7.00	0.00	9.00	0.00	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.00	0.00	0.00	4.00	2.00	1.00
22	15.00	3.00	0.00	4.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	2.00	1.00	0.00
23	11.00	2.00	0.00	3.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00
24	15.00	3.00	0.00	4.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	2.00	1.00	0.00
25	826.00	161.00	2.00	209.00	1.00	1.00	125.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00	3.00	4.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	143.00	1.00	1.00	100.00	45.00	17.00
26	32.00	6.00	0.00	8.00	0.00	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.00	0.00	0.00	4.00	2.00	1.00
27	39.00	8.00	0.00	10.00	0.00	0.00	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.00	0.00	0.00	5.00	2.00	1.00
28	565.00	110.00	1.00	143.00	0.00	1.00	86.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	3.00	0.00	1.00	2.00	1.00	1.00	98.00	1.00	1.00	98.00	1.00	0.00	68.00	31.00	12.00	
29	315.00	62.00	1.00	81.00	0.00	0.00	48.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	2.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	55.00	0.00	0.00	39.00	17.00	7.00
30	32.00	6.00	0.00	8.00	0.00	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.00	0.00	0.00	4.00	2.00	1.00

Рисунок 4 – Вигляд матриці транспортних кореспонденцій в програмному забезпечення РТВ Vision Visum

В результаті моделювання транспортної мережі нами отримані результуючі матриці за критерієм час руху (“час проїзду в навантаженій мережі”), які наведені на рисунках 5 - 7. Слід звернути увагу, що зміна параметрів транспортної моделі відбувалась на основі зміни ПС ділянок мережі, напрямків руху та зміни режимів роботи світлофорних об’єктів.

Тож, за оціночний критерій було обрано час реалізації транспортних кореспонденцій – основний показник якості функціонування транспортної системи.

Результати моделювання наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати моделювання

Варіант схеми ОДР	Сумарний час реалізації транспортних кореспонденцій по мережі, хв.
1	1481,9
2	1381,2
3	1401,6

Наступним кроком дослідження була оцінка ступеня складності та рівня небезпеки для усіх перехресть при різних варіантах ОДР на досліджуємій ділянці ВДМ [3]. Наприклад, для перехрестя

вул. Миру - вул. Бібліка, де запропоновано ввести розворотне коло, схеми конфліктних точок значно відрізняються, що підтверджує ефективність ОР.

Рисунок 5 – Результати моделювання для існуючого варіанту схеми ОДР

Рисунок 6 – Результати моделювання для варіанту 2 схеми ОДР

Рисунок 7 – Результати моделювання для варіанту 2 схеми ОДР

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Таким чином, введення ОР по вул. Миру та вул. Бібліка є доцільним в порівнянні з існуючою ОДР. При цьому саме застосування варіанту 2 схеми ОДР дозволяє зменшити час руху по мережі на 7%. Оскільки основною перевагою введення ОР вважається скорочення кількості конфліктних точок на перехресті, то з метою остаточної впевненості застосування саме варіанту 2 схеми ОДР, було проведено порівняльний аналіз їх кількості. Абсолютне значення загальної кількості конфліктних

точок, а також кількості найнебезпечніших точок перетинання в обох запропонованих варіантах, як з'ясувалось, має однакове значення. Тому у виборі найліпшого варіанту спираємось лише на критерій часу. Після введення ОР кількість конфліктних точок скорочується в 2,5 рази.

В результаті встановлено, що на прямих нерегульованих перехрестях коефіцієнт відносної небезпеки перехрестя зменшується в 1,2 рази, на прямих регульованих перехрестях – в 1,5 рази, на Т-подібних як нерегульованих, так і регульованих – в 1,1 рази, а при зміні з нерегульованого на саморегульоване перехрестя - в 2,5 рази. Слід зауважити, що методика розрахунку коефіцієнта відносної небезпеки для нерегульованих перехресть не враховує конфлікт ТП з пішохідними, через що встановити точні дані з поліпшення ситуації не можливо. Але з впевненістю можна зазначити, що в середньому коефіцієнт відносної небезпеки на досліджуваній ділянці зменшується не менш ніж в 1,4 рази з врахуванням ймовірного перерозподілу руху ТЗ по ній.

ВИСНОВКИ

Отже, запровадження ОР на вул. Миру та вул. Бібліка в Індустріальному районі м. Харків є обгрунтованим у порівнянні з існуючою ОДР, що підтверджує необхідність повсюдного застосування даного заходу, який дозволяє зменшити трафік та підвищити рівень безпеки на дорогах. Вибір саме варіанту 2 схеми ОДР дає змогу досягти значного соціального ефекту, який полягає у зменшенні кількості конфліктних точок у 2,5 рази, зниженні коефіцієнта відносної небезпеки приблизно в 1,4 рази, а також скороченні загального часу реалізації транспортних кореспонденцій на досліджуваній мережі на 100,7 хв. (7%).

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Кашканов А.А., Кужель В.П. Організація дорожнього руху: навчальний посібник. Вінниця, 2016. 125 с. URL: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Kashkanov_2017_125.pdf (дата звернення: 08.09.2024)
2. Системологія на транспорті: Підручник: У 5 кн.: Кн. IV: Організація дорожнього рух / Е.В. Гаврилов; за заг. ред. М.Ф. Дмитриченка. Київ: Знання України, 2014. 452 с.
3. Організація та безпека дорожнього руху: Підручник / Бакуліч О.О. та ін.; за заг. ред. В. П. Поліщука. Київ, 2016. 467 с.
4. О.В. Дзюбинська, М.В. Смаль. Організація дорожнього руху: навчальний посібник. Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2015. 392 с. URL: <http://surl.li/wynffk> (дата звернення: 11.09.2024)
5. HCM 2010. Highway Capacity Manual. – Washington, DC: Transportation Research Board of the National Academies, 2010. 1475 p.
6. Односторонній рух – для кого? *Ваш шанс. Громадсько-діловий тижневик.* URL: <http://www.shans.com.ua/?m=nr&id=77988&in=783> (дата звернення: 09.09.2024).
7. План управління дорожнім рухом. *Японське агентство міжнародного спіробітництва.* URL: https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/11688934_20.pdf (дата звернення: 10.09.2024).
8. Хайдаров, Ш., & Ачилдиев, Р. (2023). Організація одностороннього руху ТЗ на дорогах та їх ділянках. *Тенденції та перспективи розвитку міст*, 1(1). С. 91–94. URL: <https://inlibrary.uz/index.php/prospects-urban-development/article/view/27246> (дата звернення: 08.09.2024)
9. Dongfang LONG, Feng SHI, Yingzi WANG. One-Way Traffic Organization Based on Traffic Load and Road Equity. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*. December 2010, P. 109-114. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1570-6672\(09\)60079-9](https://doi.org/10.1016/S1570-6672(09)60079-9).
10. Степанчук О.В., Рейцен Є.О., Белятинський А.О. Моделювання транспортних потоків на вулично-дорожній мережі міст. *Автошляховик України*, December 2014. Proceedings of National Aviation University 2(3):10-29 2(3):10-29. URL: https://www.researchgate.net/publication/366006948_MODELUVANNA_TRANSPORTNIH_POTOKIV_NA_VULICNO-DOROZNIJ_MEREZI_MIST
11. Зубачик Р. М. Особливості створення транспортної моделі міста у середовищі Visum: на прикладі Львова. *Науково-виробничий журнал «Автомобільний транспорт»*. 2015. С. 8 – 15
12. Вдовиченко, В. О., Іванов, І. Є., Підлубний, С. Ю., & Васильєв, М. К. (2023). Оцінка впливу пріоритетного руху міського громадського пасажирського транспорту на якість обслуговування пасажирів. *Автомобільний транспорт*, (52), 54–63. <https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2023.52.0.06>
13. Основні принципи створення транспортної моделі міста. *Дмитрій Беспалов / Блог*. URL: <https://bespalov.me/2015/10/07/osnovni-prynzyipy-stvorenniya-transportnoi-modeli-mista/> (дата звернення: 10.09.2024).

14. Горбачов П.Ф., Дмитрієв І.А. Основи теорії транспортних систем: навч. посіб. Харків, 2002. 202 с.
15. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Моделювання транспортних систем» для студентів денної форми навчання напряму підготовки 6.070101 – «Транспортні технології» / Россолов О. В., Король В. Ю., Свічинський С. В. Харків: ХНАДУ, 2013. 41 с.

REFERENCES

1. Kashkanov A.A., Kuzhel V.P. Orhanizatsiia dorozhnoho rukhu: navchalnyi posibnyk. Vinnytsia, 2016. 125 s. URL: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Kashkanov_2017_125.pdf (data zvernennia: 08.09.2024)
2. Systemolohiia na transporti: Pidruchnyk: U 5 kn.: Kn. IV: Orhanizatsiia dorozhnoho rukh / E.V. Havrylov; za zah. red. M.F. Dmytrychenka. Kyiv: Znannia Ukrainy, 2014. 452 s.
3. Orhanizatsiia ta bezpeka dorozhnoho rukhu: Pidruchnyk / Bakulich O.O. ta in.; za zah. red. V. P. Polishchuka. Kyiv, 2016. 467 s.
4. O.V. Dziubynska, M.V. Smal. Orhanizatsiia dorozhnoho rukhu: navchalnyi posibnyk. Lutsk: RVV Lutskoho NTU, 2015. 392 s. URL: <http://surl.li/wynffk> (data zvernennia: 11.09.2024)
5. HCM 2010. Highway Capacity Manual. – Washington, DC: Transportation Research Board of the National Academies, 2010. 1475 p.
6. Odnostoronni rukh – dlia koho? Vash shans. Hromadsko-dilovyi tyzhnevnyk.. URL: <http://www.shans.com.ua/?m=nr&id=77988&in=783> (data zvernennia: 09.09.2024).
7. Plan upravlinnia dorozhnim rukhom. Yaponske ahenstvo mizhnarodnoho spirobitnytstva. URL: https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/11688934_20.pdf (data zvernennia: 10.09.2024).
8. Khaidarov, Sh., & Achyldyev, R. (2023). Orhanizatsiia odносторонного rukhu TZ na dorohakh ta yikh diliankakh. Tendentsiia ta perspektyvy rozvytku mist, 1(1). S. 91–94. URL: <https://inlibrary.uz/index.php/prospects-urban-development/article/view/27246> (data zvernennia: 08.09.2024)
9. Dongfang LONG, Feng SHI, Yingzi WANG. One-Way Traffic Organization Based on Traffic Load and Road Equity. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology. December 2010, P. 109-114. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1570-6672\(09\)60079-9](https://doi.org/10.1016/S1570-6672(09)60079-9).
10. Stepanchuk O.V., Reitsen Ye.O., Bieliatynskiy A.O. Modeliuvannia transportnykh potokiv na vulychno-dorozhni networki mist. Avtoshliakhovyk Ukrainy, December 2014. Proceedings of National Aviation University 2(3):10-29 2(3):10-29. URL: https://www.researchgate.net/publication/366006948_MODELUVANNA_TRANSPORTNIH_POTOKIV_NA_VULICNO-DOROZNIJ_MEREZI_MIST
11. Zubachyk R. M. Osoblyvosti stvorennia transportnoi modeli mista u seredovyshchi Visum: na prykladi Lvova. Naukovo-vyrobnychiy zhurnal «Avtomobilnyi transport». 2015. S. 8 – 15
12. Vdovychenko, V. O., Ivanov, I. Ye., Pidlubnyi, S. Yu., & Vasyliiev, M. K. (2023). Otsinka vplyvu priorytetnoho rukhu miskoho hromadskoho pasazhyrskoho transportu na yakist obsluhovuvannia pasazhyriv. Avtomobilnyi transport, (52), 54–63. <https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2023.52.0.06>
13. Osnovni pryntsyipy stvorennia transportnoi modeli mista. Dmytrii Bepalov / Bloh. URL: <https://bepalov.me/2015/10/07/osnovni-prynzyipy-stvorennia-transportnoi-modeli-mista/> (data zvernennia: 10.09.2024).
14. Horbachov P.F., Dmytryiev I.A. Osnovy teorii transportnykh system: navch. posib. Kharkiv, 2002. 202 s.
15. Metodychni vказivky do praktychnykh zaniat z dystsypliny «Modeliuvannia transportnykh system» dlia studentiv dennoi formy navchannia napriam pidhotovky 6.070101 – «Transportni tekhnolohii» / Rossolov O. V., Korol V. Yu., Svichynskiy S. V. Kharkiv: KhNADU, 2013. 41 s.

O. Kholodova, M. Buhaiova, S. Danets. The feasibility of introducing one-way traffic on the street and road network of cities

The article proves the relevance of the problem of traffic management on the street and road network of cities due to the constant growth of road transport, which causes congestion, traffic accidents and air pollution. All of this worsens the economy and quality of life, and creates a danger for pedestrians. The experience of various countries, including Ukraine, confirms that one-way traffic is one of the key measures that can increase the speed of traffic flows, increase street capacity, and reduce congestion and accidents. The article analyses the impact of one-way traffic on the efficiency of the transport network.

The article considers a specific example of the introduction of one-way traffic on a section of the street and road network of the Industrial district of Kharkiv. Different schemes of traffic management on this section are studied and compared with the existing one. The introduction of one-way traffic on two parallel streets - Myr and Biblyk - provides a significant social effect, namely: the number of conflict points is reduced by 2.5 times, the danger factor is reduced by 1.4 times, and the time for transport correspondence is reduced by 7%. The influence of one-way traffic on the relative hazard factor of the intersection depending on the configuration of the intersection is also determined.

It is established that the introduction of one-way traffic is justified in comparison with the existing traffic organisation. This emphasises the need for a wider application of this measure to reduce traffic intensity and improve road safety.

Key words: one-way traffic, street and road network, software, intersection, modelling, criterion, transport correspondences.

ХОЛОДОВА Ольга Олександрівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри організації та безпеки дорожнього руху, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: olgakholodova2807@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0002-4217-0548>.

БУГАЙОВА Марина Олександрівна, старший викладач кафедри організації та безпеки дорожнього руху, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: kazmar2383@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0003-1889-9555>.

ДАНЕЦЬ Сергій Віталійович, кандидат технічних наук, перший заступник директора, Харківський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр Міністерства внутрішніх справ України, e-mail: danez@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0003-4155-1856>.

Olga KHOLODOVA, Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Assoc. Professor of Department of Traffic Management and Road Safety, Kharkiv National Automobile and Highway University, e-mail: olgakholodova2807@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0002-4217-0548>.

Maryna BUHAIIOVA, senior lecturer of Department of Traffic Management and Road Safety, Kharkiv National Automobile and Highway University, e-mail: kazmar2383@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0003-1889-9555>.

Serhii DANETS, Ph.D. in Engineering, First deputy director, Kharkiv State Research and Forensic Science Center of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine, e-mail: danez@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0003-4155-1856>.

DOI 10.36910/automash.v2i23.1547