

О. Ф. КІР'ЯНОВ, Г. Г. ПЕРЕВЕРЗЄВА (Кременчуцький державний університет ім. М. Остроградського)

НАПРЯМКИ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ ВУЗЛІВ ВДМ

Наведено результати дослідження інтенсивності руху на регульованих перехрестях у місті Кременчуці. Розглянуто оптимальні організаційні заходи для зменшення коефіцієнта завантаження. Розраховано режими роботи світлофорів для ізолюваного перехрестя і взаємно-залежного вузла.

Ключові слова: транспортний потік, регульовані перехрестя, світлофори, фаза, ППР, коефіцієнт завантаження

Приведены результаты исследования интенсивности движения на регулируемых перекрестках в городе Кременчуге. Рассмотрены оптимальные организационные мероприятия для уменьшения коэффициента загрузки. Рассчитаны режимы работы светофоров для изолированного перекрестка и взаимно зависимого узла.

Ключевые слова: транспортный поток, регулируемые перекрестки, светофоры, фаза, час «пик», коэффициент загрузки

The results of traffic intensity investigation on Kremenchuk regulated road crossings are presented. Optimum organizational measures for diminishing of load factor are considered. The operational modes for traffic lights at the isolated crossing and mutually dependent junction are calculated.

Keywords: transport stream, regulated road crossings, traffic-lights, phase, ПМ, load factor

Вступ

Швидкий процес автомобілізації з кожним роком охоплює все більшу кількість країн, постійно збільшується автомобільний парк, кількість людей, причетних до дорожнього руху. Зростання автомобілів і об'єму перевезень призводить до збільшення інтенсивності руху, що в умовах міст з історичною забудовою сприяє виникненню транспортних проблем. Особливо гостро вони проявляються на вузлових пунктах вулично-дорожньої мережі (ВДМ) – перехрестях. У цих місцях збільшуються транспортні затримки, виникають черги та затори, а це викликає зниження швидкості сполучення, невіправдані перевитрати палива, погіршення екологічного стану, підвищення зношуваності вузлів і агрегатів автомобілів. Проблема ускладнюється у міських районах старої забудови, які характерні вузькою проїжджою частиною, короткими квартальними відрізками між перехрестями, значною інтенсивністю пішохідного руху.

Аналіз попередніх досліджень

Викладена проблема знайшла своє відображення у десятках наукових публікаціях, моделях ВДМ, проте залишається і далі вкрай складною з огляду на специфіку кожної конкретної групи міських перехресть, що утворилась істо-

рично та значної кількості протирічних чинників, які необхідно врахувати при пошуку оптимального вирішення задачі [1, 2]. Авторами розроблено більше десятка методів, направлених на підвищення інтенсивності руху, ступіні завантаження перехресть, підвищення пропускної здатності ВДМ та безпеки руху. Проте проблему багатокритеріальності ні одна з відомих методик не вирішує з огляду на значну вагу індивідуального для кожного з вузлів параметрів. Збільшення пропускної здатності міських ВДМ у білості методик можна досягти або за рахунок будівельних та реконструкційних заходів, або за рахунок впровадження ряду організаційних заходів, таких як розподіл транспортних потоків, впровадження інтелектуальних систем світлофорного регулювання (СФР), що діють на перехрестях тощо. Відомо, що застосування архітектурно-планувальних заходів вимагає, крім значних капіталовкладень, ще й досить значного періоду часу для виконання, тому їх впровадження відбувається у рамках генеральних реконструкцій ВДМ. Організаційні заходи також обмежені як з боку апаратного, так і алгоритмічного аспектів, проте дозволяють на певний час зменшити гостроту проблеми значно меншими витратами. Для їх впровадження, наприклад, систем СФР, необхідні певні фінансові витрати для реорганізації інформаційної підсистеми, встановлення детекторів

транспорту для збору інформації про характеристики транспортних потоків в режимі реального часу, а також потребує розробки і реалізації математичного забезпечення.

Постановка задачі

Враховуючи вищенаведені фактори, не завжди доцільним є впровадження таких методів. Приймати подібні рішення слід виходячи з міркувань, що базуються на досить коректному техніко-економічному обґрунтуванні. Відомі з робіт моделі організаційного напрямку ґрунтуються на обліку чинників, що характеризують рух транспортних потоків, і використовують дані: про інтенсивність руху транспорту і пішоходів; про швидкість руху транспорту на різних ділянках ВДМ; про затримки транспортних і пішохідних потоків на окремих ділянках і в часі (по сезонах і годинам доби); про склад транспортного потоку і т.п. [2]. В практиці регулювання дорожнім рухом (ДР) найбільш розповсюджена модель Вебстера для розрахунку світлофорного циклу і його складових. В її основі лежить мінімізація середньої затримки автомобіля. На процес ДР впливає велика кількість чинників, тому його цільова функція повинна визначатися комплексним показником ефективності за часом руху учасників і завантаженням ВДМ. Для зменшення завантаження необхідно максимально збільшити пропускну здатність перехрестя, що призведе до збільшення тривалості світлофорного циклу і затримок. Тому доцільно розробити модель, за якої пропускну здатність збільшуватиметься до визначеного ефективного рівня з мінімальними затримками.

Матеріал і результати дослідження

Для впровадження організаційних і регулювальних заходів перш за все необхідні дані інтенсивності руху, складу транспортного потоку, параметри ВДМ. Тому було проведено моніторинг транспортних потоків за рядом перехресть міста, найбільш критичних з позиції перевантаження. Моніторинг проводився в середині робочого літнього тижня протягом денного часу високої інтенсивності руху (з 7.00 до 19.00). Досліджувались транспортні потоки на перехрестях вулиці Першотравневої з вулицями Пролетарською, Шевченка та Гагаріна м. Кременчука та окремі суміжні перехрестя, показані на рис. 1.

Дослідження саме цих перехресть обумовлено тим, що вони утворюють певний взаємозалежний вузол, на якому створюються черги

довжиною в квартали. Перехрестя з вулицею Пролетарською веде на міст через р. Дніпро, що є напруженою транспортною ділянкою міжнародної автомагістралі. Через ці перехрестя проходять значні транзитні транспортні потоки. Як наслідок, проблеми у сфері дорожнього руху на міській ВДМ відбиваються на ефективності роботи автотранспортного комплексу суміжних регіонів. Епюра інтенсивності руху дозволяє виділити години пік, в які виникають найбільш складні задачі організації руху. Найбільша інтенсивність в період з 11...14 год, що пов'язано з піком ділової активності населення (рис. 2).

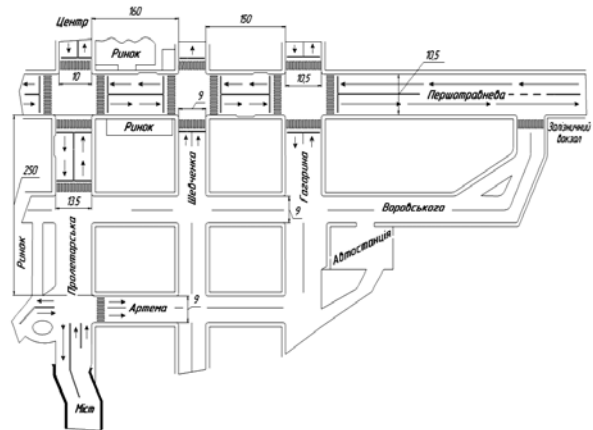


Рис. 1. Схема досліджуваних потоків транспортного району

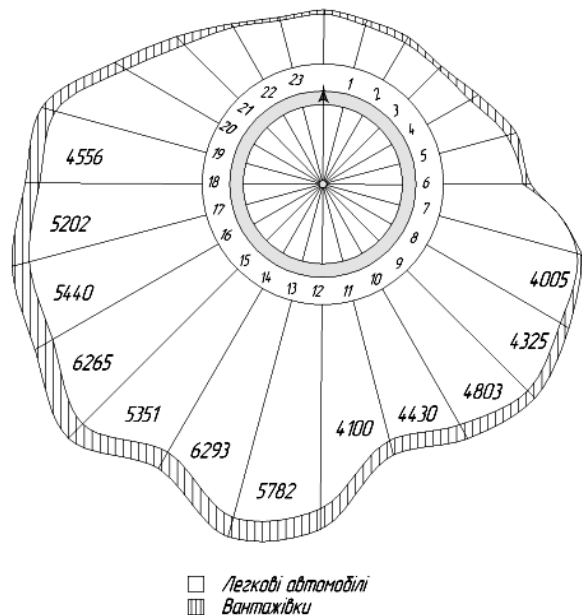


Рис. 2. Епюра інтенсивності руху протягом доби

Аналіз даних натурних досліджень показує, що на вулицях міста переважає легковий транспорт (рис. 3).

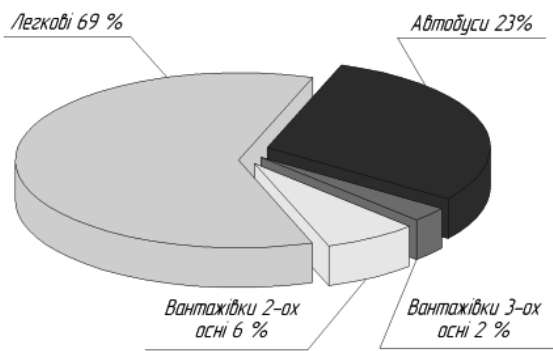


Рис. 3. Склад потоку на ВДМ

Для оцінки пропускної здатності доріг і коефіцієнта завантаження виникає необхідність приведення змішаного потоку автомобілів до потоку, що складається тільки з легкових автомобілів. Експериментально на основі часових інтервалів визначено значення коефіцієнтів приведення до легкового автомобіля:

$$E = \frac{\Delta t_{\kappa}}{\Delta t_{\lambda}}, \quad (1)$$

де Δt_{κ} – часовий інтервал між розглянутими ТЗ, с; Δt_{λ} – часовий інтервал між легковими автомобілями, с.

Використовуючи дані приведенної інтенсивності і розподілу транспортного навантаження за напрямками руху створено картограму погодинної інтенсивності руху, що показує найбільш критичні місця на перехресті з позиції перевантаження.

Для оцінки існуючих умов дорожнього руху на мережі було визначено пропускну здатність перехрестя і коефіцієнт завантаження. Як відомо з теорії транспортних потоків, регульовані перехрестя мають найменшу пропускну здатність. Тому систематичні затори створюються саме на керованих перехрестях, які являються т. з. «вузькими місцями» дороги. Якщо інтенсивність руху досягає значення пропускної здатності такого «вузького місця», то швидкість руху (пропускна здатність) не залежить від геометричних характеристик ділянки дороги, розташованої вище вузького місця. Тобто пропускна здатність вулиці визначається пропускну здатністю регульованих перехрестя [2].

Коефіцієнт завантаження не повинен перевищувати при 2-тактному регулюванні 0,8...0,9. В даному випадку більшість коефіцієнтів дорівнює одиниці, а то й вище:

$$z = \frac{N_{\text{прив}}^{\text{год}}}{P_{\text{прив}}^{\text{год}}}, \quad (2)$$

де $N_{\text{прив}}^{\text{год}}$ – приведена інтенсивність в перерізі «стоп-лінії»; $P_{\text{прив}}^{\text{год}}$ – пропускна здатність в перерізі «стоп-лінії».

Виявлено, що існуюча пропускна здатність на деяких підходах до перехрестя використовується не ефективно, тобто в одному напрямі надлишок дозволеного сигналу, а в іншому – зростає черга ТЗ. Методом цільового пошуку управляючих параметрів з використанням ПК визначено оптимальне співвідношення фаз циклу і тривалість циклу на кожному перехресті. В якості критеріїв оптимізації слугують значення середньої затримки (3), мінімізація коефіцієнта завантаження (4), рівномірність завантаження всіх підходів (умова $z_{\text{max}} - z_{\text{min}} \leq 0,4$). Математична інтерпретація даної моделі управління описується таким чином:

$$\bar{t} = f(T_c, t_{o1}, t_{o2}) \longrightarrow \min; \quad (3)$$

$$z = f(P_{\text{прив}}^{\text{год}}, t_{o1}, t_{o2}) \longrightarrow \min, \quad (4)$$

де T_c – тривалість циклу СФР; t_{o1}, t_{o2} – тривалість основних тактів регулювання.

Початкові умови:

$$25 \leq T_c \leq 120; T_p = t_{p1} + t_{p2} = \text{const}, \quad (5)$$

де T_p – загальна тривалість проміжних тактів СФР; t_{p1}, t_{p2} – тривалість проміжних тактів регулювання.

Задаємо в якості початкового циклу T_c мінімально допустиме його значення, розраховуємо основні такти з кроком 0,02. Після перебору всіх значень T_c отримано оптимальне співвідношення фаз циклу і його загальну тривалість. Пропускну здатність перерозподілено відповідно до інтенсивності руху, при цьому зменшуються коефіцієнти завантаження і середня затримка. Оптимальних рівнів завантаження досягнуто на досліджуваній ВДМ, крім перехрестя Першотравнева-Пролетарська, так як прямий і перпендикулярний потоки настільки щільно насичені, що корегування двофазового СФР не дало ефективного результату.

Для перехрестя Першотравнева – Пролетарська використаємо метод управління рухом за окремими напрямками. Фазу, як правило визначає найбільш завантажений напрямок. В останніх менш завантажених напрямках фаза не насичена, тобто існує надлишок зеленого сигналу. Це призводить до збільшення тривалості циклу і зменшення пропускної здатності. Щоб лікві-

дувати цей недолік і підвищити гнучкість процесу управління визначаємо тривалість тактів для напрямів роздільно. За такою схемою спочатку пропускаємо прямий мало інтенсивний потік і відводимо час для пропуску зустрічного насиченого лівоповоротного напрямку. Таким чином вдалося максимально збільшити пропускну здатність вулиці Першотравневої і досягти бажаного коефіцієнта, проте невелике напруження залишилось на Пролетарській.

При існуючій інтенсивності засобами СФР не вдається досягти планових коефіцієнтів, тому доцільно зменшити надходження транспорту на досліджувану ВДМ, шляхом обмеження в'їзду вантажних автомобілів у години рекреаційних періодів «пік», а саме з 11 до 14 години (див. рис. 2). Такий підхід дозволить зменшити інтенсивність лівоповоротних напрямів, що значно зменшують пропускну здатність. Після повторного корегування циклу СФР отримані результати задовольняють поставленим вище умовам.

До цього досліджувані перехрестя розглядалися як ізольовані, але беззаперечно між ними існує тісний взаємозв'язок, затор на одному перехресті змінює ритм руху на сусідніх. Тому доречно запланувати координоване управління, що забезпечує включення дозволених сигналів в момент підходу групи автомобілів, які рухаються з визначеною швидкістю. Технічні можливості контролерів дозволяють використання більш складних алгоритмів, ніж існуюче жорстке з одним циклом. Для розрахунку режиму координованого управління використано графоаналітичний метод, що полягає у побудові графіка «відстань-час». Ключовим є перехрестя Першотравнева-Пролетарська, оскільки в нього максимальна тривалість циклу і найбільше завантаження (рис. 4). Цикл для всіх перехресть однаковий (58с), а співвідношення фаз відповідно до інтенсивності.

Основа графоаналітичного методу – максимізація ширини смужки часу. Якщо графік руху автомобіля знаходиться в середині цієї смужки, то йому гарантується беззупиночний рух. Тангенс кута нахилу цих ліній відповідає розрахунковій швидкості. В результаті затримка автомобілів наближується до нуля, збільшується швидкість і, відповідно, збільшується пропускну здатність, зменшується рівень завантаження.

Висновки

1. Пошук оптимальних рішень підвищення пропускну здатності для групи перехресть не-

обхідно вести по багатокритеріальні моделі, що враховує конкретні особливості даної групи.

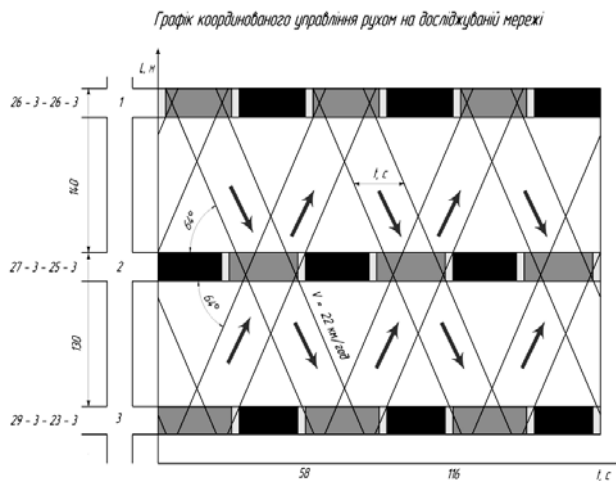


Рис. 4. Схема вузлового руху

2. Оптимальне співвідношення фаз циклу і тривалість циклу на кожному перехресті визначають методом цільового пошуку управляючих параметрів, де в якості критеріїв оптимізації слугують значення середньої затримки та мінімізація коефіцієнта завантаження.

3. Достатньо якісне, проте тимчасове рішення, дає впровадження координованого руху (локальної зеленої хвилі), що орієнтована на фактичні показники інтенсивності руху.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Глик, Ф. Г. Обследование транспортных потоков и прогнозирование нагрузки сети городских улиц и дорог [Текст] / Ф. Г. Глик // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов. – Екатеринбург, 1998. – 105 с.
2. Брайловский, Н. О. Моделирование транспортных систем [Текст] / Н. О. Брайловский, Б. И. Грановский. – М.: Транспорт, 1978. – 125 с.
3. Математическое моделирование автотранспортных потоков [Текст] / Н. Н. Смирнов [и др.]. – М.: Мехмат МГУ, 1999. – 59 с.
4. Семенов, В. В. Математическое моделирование транспортных потоков мегаполиса [Текст] / В. В. Семенов. – Препринт № 34 Ин-та прикл. математики им. М. В. Келдыша РАН, 2004. – 17 с.
5. Пугачев, И. Н. Организация и безопасность движения [Текст] : учеб. пособие / И. Н. Пугачев. – Хабаровск, 2004. – 42 с.

Надійшла до редколегії 08.10.2010.

Прийнята до друку 19.10.2010.