

УДК 711.73

М.С. Фоменко,
Луцький національний технічний університет**МЕТОД МОНІТОРИНГУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ДОРОЖНЬО-
ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ СЕРЕДНІХ МІСТ УКРАЇНИ**

Розроблено метод моніторингу функціонування дорожньо-транспортної мережі середніх міст України на основі методу ув'язки кільцевих систем газопостачання.

Ключові слова: *дорожньо-транспортна система, вулично-дорожня мережа, транспортний потік, мережа газопостачання*

Місто можна розглядати, як комплекс матеріальних елементів: житлових, громадських, промислових, комунально-складських, транспортних територій та територій іншого призначення [9]. Транспорт і вулично-дорожня мережа (ВДМ) призначені для забезпечення швидкого, зручного і безпечного зв'язку між ними [10]. Ще у 1912 р. у праці відомого російського вченого-урбаніста Г. Дубеліра знаходимо: «Сѣтъ городскихъ улицъ, площадей и парковъ составляетъ такую же неотъемлемую часть города, какъ и жилые кварталы. Отъ удачной планировки этой сѣти въ значительной степени зависитъ удобство городскихъ сообщеній, гигиеничность застройки, и, наконецъ, живописность города» [5].

На сьогоднішній день дорожньо-транспортна система (ДТС) вже не справляється з поставленими задачами, хоча рівень автомобілізації ще не досягнув граничних значень. На міських вулицях і дорогах можна спостерігати зниження швидкості руху, періодично повторювані затори, збільшення кількості ДТП через велику інтенсивність, а, відповідно, і напругу руху.

З кожним роком зростає актуальність проблеми управління ДТС в цілому, адже точкове вирішення задач по організації вуличного руху не дає повноцінного результату. В цьому випадку для дослідження найбільше підходять макроскопічні моделі транспортного потоку, що описують його стан за усередненими показниками швидкості, інтенсивності і щільності, а також використовуються для вирішення питань ефективності [4, 7].

В роботі [6] було перевірено можливість і коректність застосування апарату газодинаміки для вирішення питань по організації руху. Для цього було обґрунтовано відповідність величин (молекули газу – автомобілі; щільність потоку ρ , $кг/м^3$ – k , $авт/км$; швидкість u , $м/с$ – v , $км/год$) та основних рівнянь (рівняння нерозривності, руху) транспортного та газового потоків¹.

¹ В даній роботі пропонується провести дану аналогію далі, порівнявши роботу мережі газопостачання з роботою ДТС.

Для належного функціонування системи управління ДТС постає необхідність створення ефективного методу моніторингу для постійного контролю за її роботою.

Мета: розробити метод моніторингу функціонування дорожньо-транспортної системи середніх міст України на основі методу ув'язки кільцевих систем газопостачання.

Основна частина. Спочатку пропонується розглянути метод ув'язки мережі газопостачання для подальшої розробки на його основі методу моніторингу функціонування ДТС.

Метод ув'язки мереж газопостачання. За конфігурацією в плані мережі газопостачання проектують розгалуженими (тупиковими) і кільцевими (замкнутими) [8]².

Підготовка мережі до розрахунку полягає у складанні умовної розрахункової схеми, яку, з точки зору теорії графів, можна представити у вигляді орієнтованого графу, що складається з n вершин та m дуг (рис. 1). Вершинами є відповідно пронумеровані вузли – точки відбору газу значними споживачами та точки розгалуження на схемі, які поділяють мережу на розрахункові ділянки (дуги). Замкнуті контури (кільця) також нумеруються.

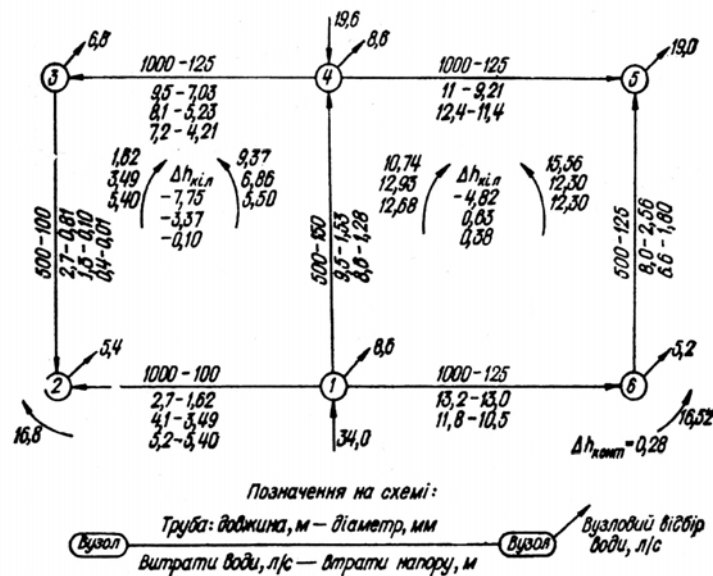


Рис. 1. Розрахункова схема мережі газопостачання

При проектуванні мереж газопостачання проводиться гідравлічний розрахунок для визначення: 1) діаметрів труб d (мм); 2) витрат q (m^3/c), які проходять по окремим ділянкам мережі; 3) для підрахунку втрат напору h (м) від місця подачі до розрахункової точки мережі [8].

² Далі буде розглянуто метод ув'язки кільцевих мереж газопостачання, т. я. ВДМ м. Луцька, користуючись термінологією газодинаміки, є кільцевою мережею.

Втрати напору потоку викликані опорами двох видів: 1) опорами по довжині, що спричиняються силами тертя; 2) місцевими опорами, що спричиняються змінами швидкості потоку по величині і напрямку [1]

Для підрахунку втрат напору необхідно виконати «ув'язку» мережі, в ході якої коригують розподіл витрат по ділянкам так, щоб для всіх кілець і вузлів виконувались дві закономірності, складені на основі законів Кірхгофа в електротехніці [8].

Перший закон Кірхгофа: алгебраїчна сума токів у будь-якому вузлі дорівнює 0. Або сума токів, що входять у вузол дорівнює сумі токів, що виходять з нього.

Другий закон Кірхгофа: сума знижень напружень у будь-якому замкнутому контурі мережі дорівнює 0 [2].

Тобто розрахунок кільцевої мережі ведеться у двох взаємопов'язаних напрямках: урівнювання витрат у вузлах мережі $\sum q = 0$; урівнювання втрат напору у лівій і правій вітках кільця $\sum h = 0$.

Розрахунок починається з призначення витрат по ділянкам мережі, враховуючи першу закономірність. Згідно встановленому розподілу визначають діаметри труб та швидкості, що є найбільш економічними з досвіду проектних організацій, та задають напрямок руху газу. Далі обраховують втрати напору для кожної ділянки. Для перевірки виконання другої закономірності втрати напору на розрахунковій ділянці з рухом газу за годинниковою стрілкою приймаються зі знаком «+» і з рухом проти годинникової стрілки – зі знаком «-». Усі ці значення наносять на розрахункову схему (рис. 1). Якщо умова не виконується, починають перерозподіляти витрати, коригувати діаметри та швидкості по ділянкам мережі до тих пір, поки величина неув'язки не досягне 0,3-0,5 м.

Метод моніторингу функціонування ДТС ґрунтується на принципах системного аналізу та включає таку послідовність дій: 1) дослідження існуючого стану ВДМ та транспортного потоку; 2) складання умовної розрахункової схеми; 3) обчислення затримок на розрахункових ділянках мережі; 4) перевірка виконання першого та другого законів Кірхгофа; 5) перевірка рівня завантаження міських вулиць і доріг, підсумкового коефіцієнта затримок та відповідності існуючої швидкості руху розрахунковій; 6) проведення організаційно-регулювальних та містобудівних заходів по реконструкції ДТС; 7) повторна ув'язка мережі.

Метод базується на гіпотезі про тотожність процесів лінійного переміщення стисної рідини (газу) по замкнутому контуру й уявленні про ВДМ, як кільцеву мережу. Задачею методу моніторингу функціонування ДТС є створення такого апарату, що дозволяє оцінити існуючий стан системи й

У даному методі необхідно також врахувати факт існування верхньої межі пропускної спроможності міських вулиць і доріг, величина якої і буде зменшуватися під впливом затримок.

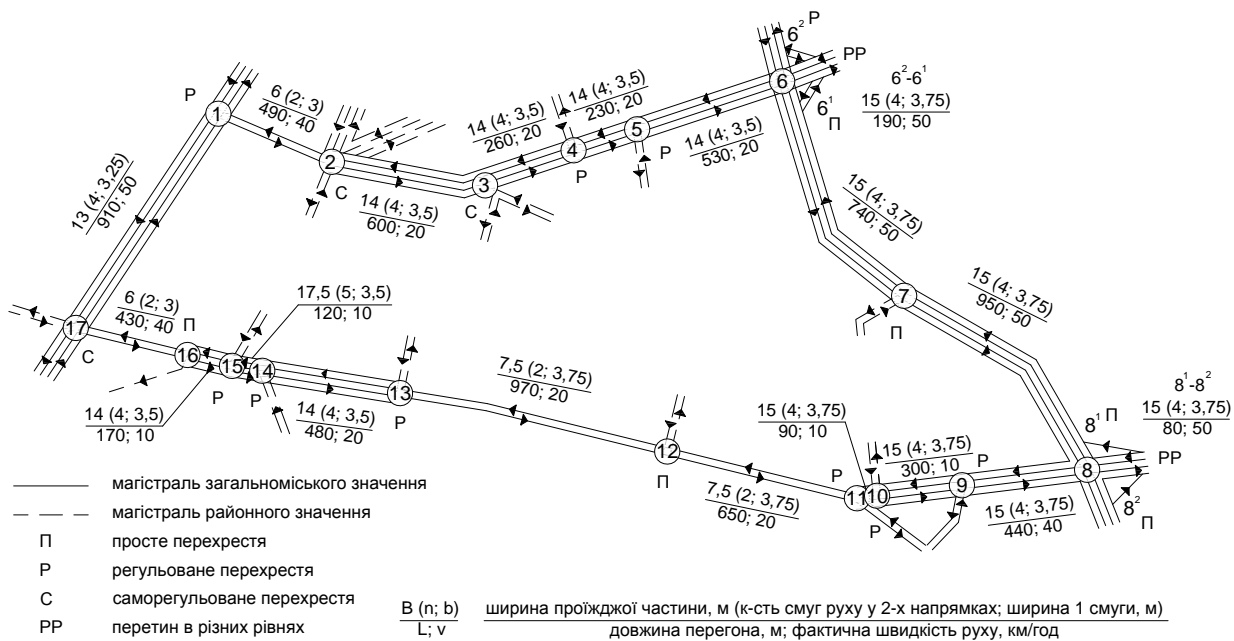


Рис. 3. Розрахункова схема центральної частини ВДМ м. Луцька

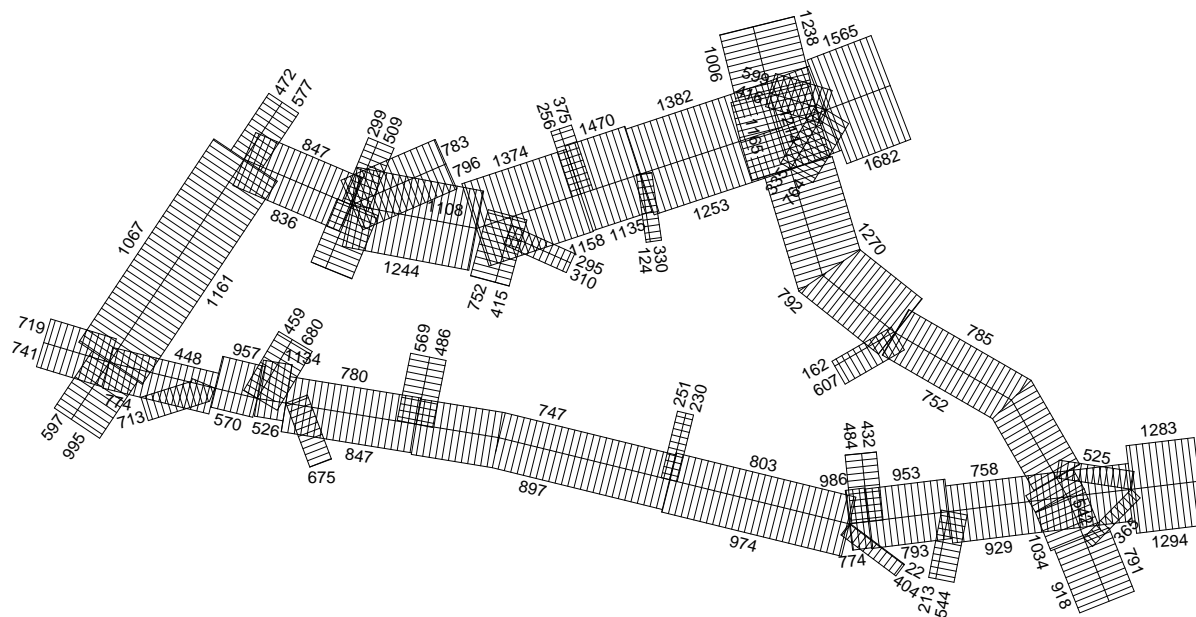


Рис. 4. Картограма інтенсивностей руху центральної частини ВДМ м. Луцька

У роботі [3] запропонована така формула для визначення максимальної фактичної пропускної спроможності N_m однієї смуги руху на пергоні, в якій за допомогою системи поправочних коефіцієнтів враховуються затримки на перехрестях і перегонах:

$$N_m = 0,125 \cdot \alpha \cdot k \cdot v_0 \cdot Q_m,$$

де α – коефіцієнт затримок автомобілів на простих, регульованих, саморегульованих перехрестях і на підходах до перетину в різних рівнях; k – коефіцієнт, що враховує стан дорожнього покриття і дорожніх умов руху, дорівнює добутку окремих коефіцієнтів, рекомендованих В. В. Сільяновим (k_n – кількість смуг руху, k_e – відсоток вантажних автомобілів у потоці, k_m – тип покриття, k_{in} – повздовжній ухил, k_{w} – ширина смуги руху); v_0 – швидкість вільного руху, приймається 60 км/год для загальноміських магістралей регульованого руху для змішаного потоку; Q_m – максимальна щільність, при приблизній довжині легкового автомобіля 4м і запасного відрізка між автомобілями 4м, складає 125 авт/км.

Максимальна пропускна спроможність N_{m0} , без врахування коефіцієнтів α і k , буде становити 938 авт./год.

Коефіцієнти, що враховують вплив перехресть обчислюються за формулами:

$$\alpha_{np} = \frac{\hat{L}_i/v_i}{\frac{\hat{L}_i}{v_i} + Ne^{-Nt}[1 - \Pi(\tau)] \cdot \left[\frac{v_i}{2a} + \frac{v_i}{2b} + \frac{1}{N}(e^{Nt} - Nt - 1) \right]}; \quad \alpha_{pж} = \frac{\frac{\hat{L}_i}{v_i}}{\frac{\hat{L}_i}{v_i} + \left(\frac{v_i}{2a} + \frac{v_i}{2b} + \frac{t_q}{2} \right)}$$

$$\alpha_{cp} = \frac{v_k}{v_i} \frac{Q_m - Q}{Q_m}; \quad \alpha_{p.p.} = \frac{v_2 Q_m (Q_m - Q_1)}{v_1 [(Q_m - Q_1)^2 + Q_1 Q_m]}$$

де α_{np} – коефіцієнт затримок для нерегульованого перехрестя; $\alpha_{pж}$ – коефіцієнт затримок для перехрестя з жорстким режимом регулювання; α_{cp} – коефіцієнт затримок для саморегульованого перехрестя; $\alpha_{p.p.}$ – коефіцієнт затримок для перетину в різних рівнях; \hat{L}_i – ділянка вулиці одиничної довжини з перетином або «вузьким» місцем, м; v_i – швидкість транспортного потоку по i -ій полосі, м/с; N – інтенсивність руху напрямку, що перетинається, авт./с; t – інтервал, недостатній для перетину, с; e – основа натурального логарифма, $e=2,7$; $\Pi(\tau)$ – вірогідність появи допустимого для перетину інтервалу τ ; a – коефіцієнт гальмування, $a=1\text{м/с}^2$; b – коефіцієнт розгону, $b=1,5\text{м/с}^2$; t_q – тривалість червоного сигналу, с; v_k – швидкість руху по кільцю; Q – фактична щільність руху на кільці, авт./км; Q_{max} – максимальна щільність транспортного потоку, авт./км; v_1 – швидкість руху на першій (зовнішній) смузі перетину в різних рівнях; v_2 – швидкість руху на другій (внутрішній) смузі перетину в різних рівнях; Q_1 – фактична щільність руху на першій (зовнішній) смузі перетину в різних рівнях.

Згідно [7] зручніше враховувати затримку на перехресті (вплив перехрестя) у затримку на перегоні.

Повертаючись до ВДМ м. Луцька (рис. 3), уявляємо, що необхідно проїхати від точки 2 до точки 10. Є два варіанти маршрутів: 1) з т. 2 до т. 10 за годинниковою стрілкою (довжина маршруту $L= 4320\text{м}$, затримки враховуємо зі знаком «+»); 2) з т. 2 до т. 10 проти годинникової стрілки (довжина маршруту $L= 4310\text{м}$, затримки враховуємо зі знаком «-») (рис. 5). Точки вибираємо таким чином, щоб відстані по 2-х маршрутах були рівні. При цьому першу точку можна прийняти на перехресті, а друга може попадати на перегон. В цьому випадку ми не прив'язуємось до форми контуру (прямокутна, трапецевидна, трикутна, багатокутна).

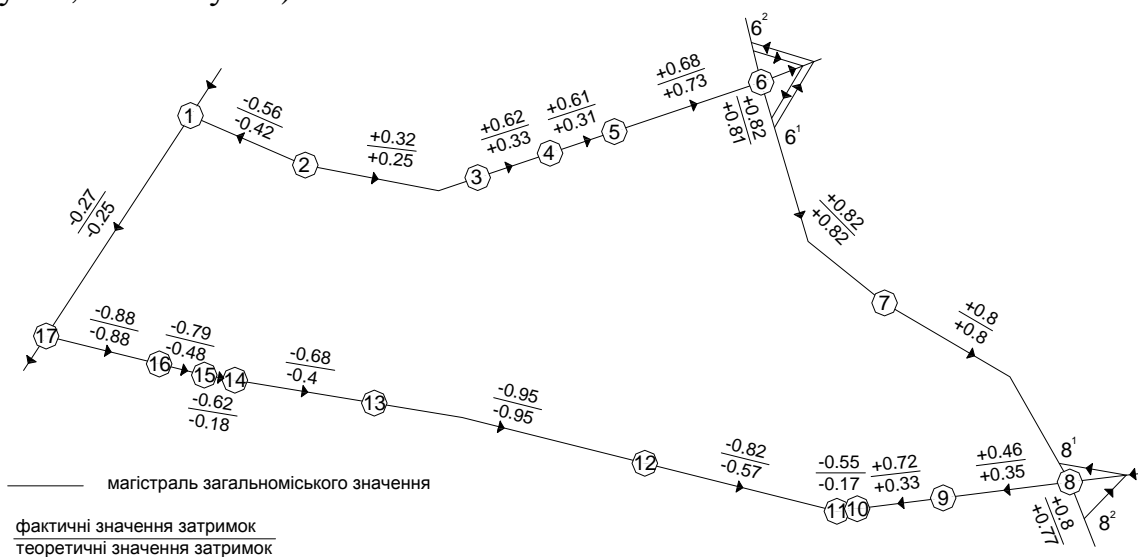


Рис. 5. Маршрут з т. 2 до т. 10

Другий раз перевіряємо даний контур у зворотному напрямку (з т. 10 до т. 2), щоб перевірити повне функціонування у двох напрямках (рис. 6).

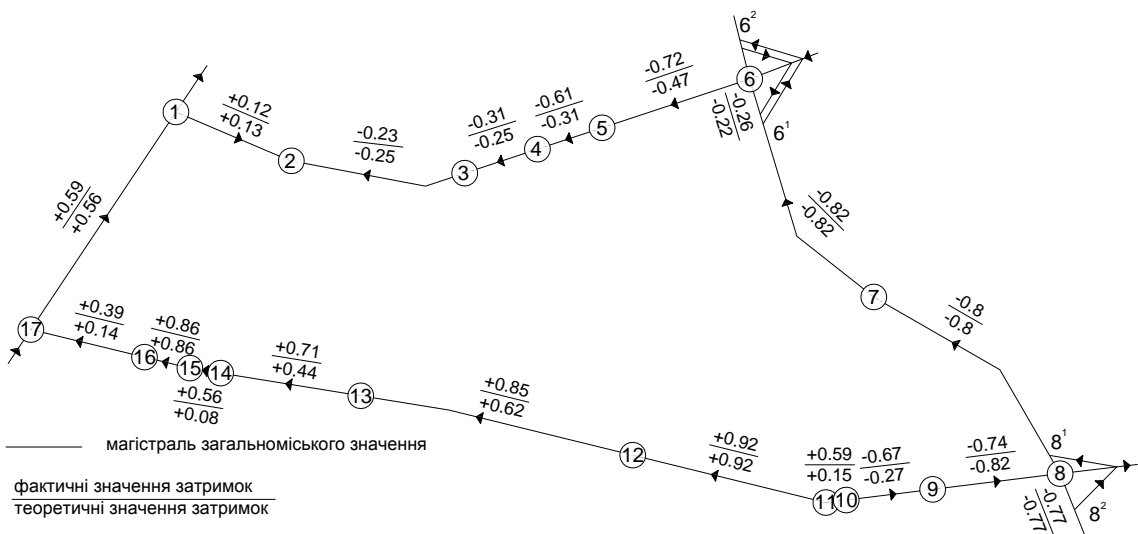


Рис. 6. Маршрут з т. 10 до т. 2

Для виявлення причин недоліків у функціонуванні ДТС необхідно також порівняти роботу системи при розрахункових параметрах швидкості (60 км/год) та інтенсивностях рівних пропускній спроможності з роботою системи при фактичних значення цих параметрів.

Вираховуємо фактичні h_{ϕ} й теоретичні h_m значення затримок, що припадають на 1 смугу руху, т. я. кількість смуг руху на різних ділянках може бути різною. Наносимо їх значення на розрахункові схеми (рис. 5, 6).

4. *Перевірка виконання першого та другого законів Кірхгофа.* Перший закон Кірхгофа виконується для всіх перехресть на мережі. Залишається перевірити другу закономірність.

$$\text{Маршрут з т. 2 до т. 10: } \sum h_{\phi} = +6,65 - 6,12 = +0,53$$

$$\sum h_{\tau} = +5,5 - 4,3 = +1,2$$

$$\text{Маршрут з т. 10 до т. 2: } \sum h_{\phi} = +5,59 - 5,93 = -0,34$$

$$\sum h_{\tau} = +3,9 - 4,98 = -1,08$$

Значення неув'язок не є суттєвою при розгляді існуючої ситуації. Це підтверджується, якщо додатково визначити цю неув'язку через час проходження по даним півкільцям. Ця різниця буде у першому випадку – 9с, у другому – 14с. Другий закон Кірхгофа виконується. Отже півкільця функціонують рівнозначно у двох напрямках. Але, порівнюючи фактичну ситуацію з теоретичними умовами, бачимо, що неув'язка збільшується, як і різниця у часі проходження по маршрутам у першому випадку до 96 с, у другому – 245с. Це можна пояснити тим, що при швидкості у 60 км/год при виникненні перешкод автомобіль більше часу втрачає при гальмуванні та розгоні.

5. *Перевірка рівня завантаження міських вулиць і доріг, підсумкового коефіцієнта затримок та відповідності існуючої швидкості руху розрахунковій.* Через те, що транспортний потік є набагато складнішим явищем ніж потік газу, відповідно для перевірки функціонування ДТС не достатньо виконання першого і другого законів Кірхгофа. Адже, якщо перевірити перегони за рівнем завантаження та величиною фактичної швидкості, можна виявити, що швидкості руху занадто низькі, а пропускна спроможність практично вичерпана.

Що стосується коефіцієнта затримок ak , то чим ближче він наближається до 1, тим менший вплив від негативних чинників на пропускну спроможність мережі.

В ході проведеного аналізу виявлено: 1) найнижчі швидкості $v=10$ км/год у годину «пік» спостерігаються на ділянках 9-10, 10-11, 14-15, 15-16. Найвища величина швидкості $v=50$ км/год – на перегонах 6-7, 7-8, 17-1. На інших швидкість руху знаходиться в межах 20-40 км/год. Звідси видно, що на жодній

ділянці розрахункова швидкість руху $v=60$ км/год у годину «пік» не забезпечується; 2) інтенсивності руху нижчі за пропускну спроможність ϵ на перегонах 6^1-7 , $7-8^1$, 8^1-8^2 , $8-9$, $9-10$, $10-11$, $13-14$, $14-15$, $15-16$ (при порівнянні з теоретичними умовами – тільки на ділянках 6^2-6^1 , 6^1-7 , $7-8^1$, 8^1-8^2 , $15-16$, $16-17$). Всі інші ділянки функціонують на рівні пропускну спроможності і місцями вже перевищують її; 3) найнижчі коефіцієнти затримок отримані на ділянках 1-2, 2-3, 3-4, 8-9, 16-17, 17-1 (при теоретичних значеннях їх кількість значно зростає). Їх значення менші за 0,5.

6. *Проведення організаційно-регулювальних та містобудівних заходів по реконструкції ДТС.* Перераховані вище ділянки потребують додаткового аналізу для виявлення причин, що суттєво зменшують їх пропускну спроможність. Після їх встановлення проектувальнику необхідно визначити, яким чином можна покращити роботу даних частин ВДМ.

7. *Повторна ув'язка мережі.* Для перевірки ефекту від запроєктованих дій, а також для вибору найкращого варіанту необхідно повторно провести ув'язку мережі.

Висновки. В ході проведеного дослідження було розроблено алгоритм методу моніторингу функціонування ДТС середніх міст України.

Ефективність застосування методу буде тільки тоді на належному рівні, коли інформація про стан вулично-дорожньої мережі та величини транспортного потоку по ній, постійно буде оновлюватись і дійсно відображати її стан.

Розгляд не окремої ділянки, а мережі в цілому за допомогою даного методу допоможе виявити «вузькі» місця, провести запроєктовані заходи по вдосконаленню роботи ДТС і перевірити ефект від їх впровадження.

Список використаних джерел

1. Гидравлика, водоснабжение и канализация: учебник для вузов / В. И. Калицун, В. С. Кедров, Ю. М. Ласков, П. В. Сафонов. – [3-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Стройиздат, 1980. – 359 с.
2. Гринчак Н. В., Кузьмичева Е. В., Волков Д. А. Построение математической модели инженерной сети для ее реализации на персональном компьютере / Н. В. Гринчак, Е. В. Кузьмичева, Д. А. Волков // Комунальне господарство міст: збірник наукових праць. – 2009. – № 88. – С. 127-135.
3. Гук В. И. Элементы теории транспортных потоков и проектирования улиц и дорог: учебное пособие / В. И. Гук. – К.: УМК ВО, 1991. – 254 с.
4. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими / Д. Дрю; пер. с англ. Е. Г. Коваленко и Г. Д. Шермана; под ред. гл. кор. АН СССР И. П. Бусленко. – М.: «Транспорт», 1972. – 424с.

5. Дубелирь Г. Д. Городскія улицы и мостовыя / Г. Д. Дубелирь. – Кієвъ: Тип. Т. П. Пономарева, 1912. – 407 с.
6. Дьомін М. М. Гідродинамічна модель як макропідхід для управління транспортним потоком / М. М. Дьомін, М. С. Фоменко // Містобудування та територіальне планування. – К., КНУБА, 2011. – № 40. – С. 386-394.
7. Иносэ Х., Хамада Т. Управление дорожным движением / Х. Иносэ, Т. Хамада; пер. с англ. М. П. Печерского; под ред. М. Я. Блинкина. – М.: Транспорт, 1983. – 248с.
8. Ионин А. А. Газоснабжение: учеб. для вузов / А. А. Ионин. – [4-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Стройиздат, 1989. – 439 с.
9. Кудрявицкий А. Е. Градостроительная эффективность и безопасность движения / А. Е. Кудрявицкий, Г. Н. Кудряшов. – Минск: Наука и техника, 1969. – 108 с.
10. Меркулов Е. А. Городские дороги: учебник для вузов / Е. А. Меркулов. – М.: Высшая школа, 1973. – 456 с.

Аннотация

Разработан метод мониторинга функционирования дорожно-транспортной сети средних городов Украины на основе метода увязки кольцевых систем газоснабжения.

Ключевые слова: дорожно-транспортная система, улично-дорожная сеть, транспортный поток, сеть газоснабжения

Annotation

The method of monitoring of functioning of the road-transport network of the middle cities of Ukraine is worked out on the basis of method of tying up of the circular gas-supplying systems.

Keywords: street-transport system, street network, transport stream, network of gas-supplying