

Єресов В.І., канд. техн. наук, Дідківська Л.С., канд. техн. наук

## ОБҐРУНТУВАННЯ УМОВ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ГНУЧКОГО СВІТЛОФОРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

**Анотація.** У статті наведено основні етапи визначення області ефективного застосування гнучких методів світлофорного регулювання в умовах нестационарності параметрів транспортного потоку з врахуванням економічної складової проекту. Проведено порівняння діючих рекомендацій по впровадженню таких методів з результатами здійсненого дослідження.

**Ключові слова:** гнучкі методи світлофорного регулювання, інтенсивність, транспортна затримка, співвідношення зиск-витрати, допустима вартість інтелектуальної транспортної системи.

**Анотация.** В статье показаны основные этапы определения области эффективного применения гибких методов светофорного регулирования в условиях нестационарности параметров транспортного потока с учетом экономической составляющей проекта. Сделано сравнение действующих рекомендаций по внедрению таких методов с результатами проведенного исследования.

**Ключевые слова:** гибкие методы светофорного регулирования, интенсивность, транспортная задержка, соотношение выгоды-затраты, допустимая стоимость интеллектуальной транспортной системы.

**Annotation.** The article shows main steps to define the scope of effective application of the flexible methods of signal control in the environment of traffic parameters nonstationarity with a glance at economic component of the project. Active recommendations on implementing such methods are compared with the results of the research.

**Key words:** flexible methods of signal control, traffic intensity, traffic delay, benefits costs ratio, allowable cost of intellectual transport system.

Транспортна ситуація в містах-мільйонниках наразі є вкрай напруженою. Дана проблема постала перед їх жителями приблизно два десятиліття тому і на мінімізацію її негативних наслідків спрямовані передові технології та новітні розробки у галузі науки і техніки. У той же час сучасний етап розвитку електроніки, інформатики і обчислювальної техніки надав можливості комплексного вирішення транспортної проблеми на всіх рівнях її впливу, що проявилось у виникненні нової ідеологічної концепції, яка отримала назву «інтелектуальні транспортні системи». Термін «інтелектуальні транспортні системи» (ІТС) у даний час характеризує комплекс інтегрованих засобів керування дорожнім рухом і перевезеннями, застосовуваних для рішення усіх видів транспортних проблем на основі високих технологій, методів моделювання транспортних процесів, організації інформаційних потоків у реальному режимі часу. ІТС створюються на основі існуючих автоматизованих систем керування дорожнім рухом, систем керування рухом маршрутного транспорту, автоматизованих систем виявлення дорожньо-транспортних подій, систем маршрутної навігації, інформаційних систем керування дорожньою мережею й іншими підсистемами керування дорожнім рухом і перевезеннями.

Розширена концепція управління в ІТС передбачає обов'язкове виконання таких функцій, як моніторинг характеристик транспортних потоків і показників якості функціонування вулично-дорожньої мережі, динамічний вибір маршруту руху й інформаційне забезпечення в реальному режимі часу при проходженні маршруту. Усі ці функції по суті справи спрямовані на підвищення ефективності реалізації головної переваги автомобільного транспорту - організацію перевезень за принципом «від дверей до дверей»

Одним з найбільш популярних і ефективних методів управління транспортними і пішохідними потоками у містах є світлофорне регулювання (СФР). Варто зазначити, що 99 % світлофорних об'єктів в Україні сьогодні працюють у програмному (жорсткому) режимі в умовах незамкненого контуру управління, тобто без врахування реальних змін у поточному часі (тобто – нестационарності) параметрів транспортного потоку. При цьому існуючі критерії якості управління, такі як непродуктивні транспортні затримки, кількість транспортних засобів у черзі також не враховують показників нестационарності потоків.

В рамках концепції ІТС задачі подібних підсистем мають реалізовуватися методами гнучкого (адаптивного) регулювання, що мають замкнений контур

управління за рахунок наявності детекторів транспорту і здійснюють в режимі «on line» розрахунок оптимізуючих параметрів управління.

З іншого боку впровадження гнучких методів світлофорного регулювання (ГМР), як функціональних елементів інтелектуальної транспортної системи, пов'язане зі значними фінансовими витратами (детектори транспорту, монтаж, налагодження і т.п.), отже потребують окремого техніко-економічного обґрунтування та дослідження умови їх ефективного функціонування.

В роботі [1] було наведено результати дослідження, що показало подовження тривалості кореляційного зв'язку між випадковими подіями процесу надходження транспортних засобів при зростанні завантаження дороги рухом, що вказує на підвищення рівня стаціонарності процесу. На практиці це буде виражено у зростанні імовірності повтору кількості транспортних засобів, що надійдуть до стоп-лінії за одиницю часу. Натомість при застосування ГМР тривалість фаз для кожного напрямку руху при невисоких значеннях коефіцієнту завантаження дороги рухом  $z$  буде змінюватися щоразу, а при стабілізації характеру надходження транспортних засобів імовірність повтору тривалостей фаз для напрямку зростатиме і буде близьким за значенням до розрахованого для жорстких методів регулювання (ЖМР). Натомість, при використанні ЖМР при малих значеннях завантаження дороги рухом  $z$  фази будуть мало насиченими. Значення завантаження дороги рухом визначається як:

$$z = \frac{N}{P} \cdot \quad (1)$$

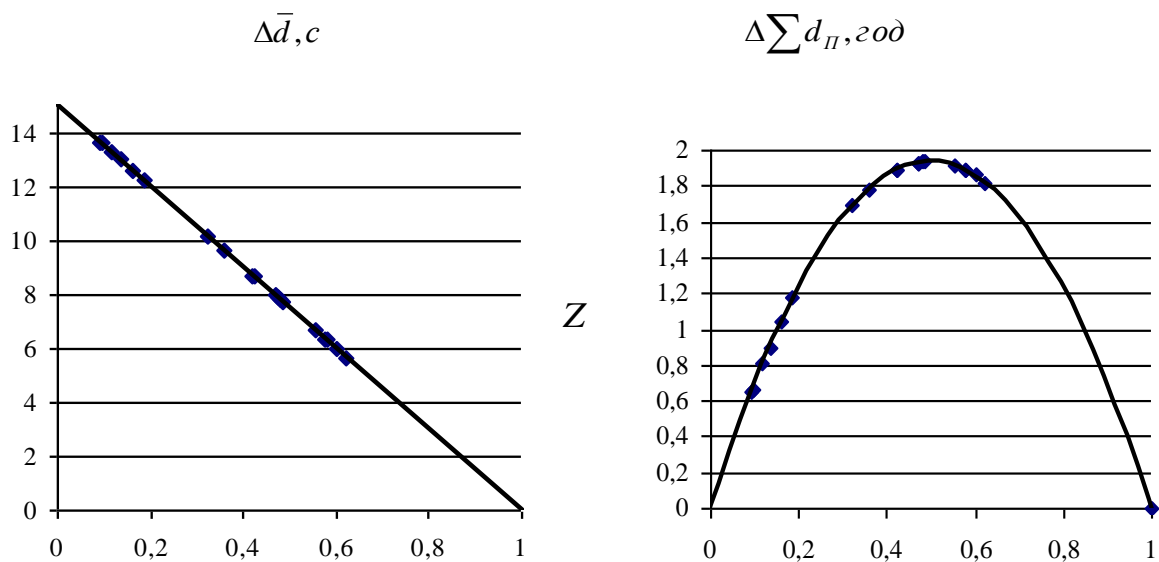
$N$  – фактична інтенсивність, авт/год;  $P$  – пропускна здатність напрямку або елемента дороги, авт/год.

Оцінка техніко-економічної ефективності здійснена на прикладі чотиристороннього перехрестя в умовах однорядного руху в кожному напрямку для різних значень коефіцієнта завантаження рухом (1).

Рекомендації щодо впровадження того чи іншого виду СФР зазвичай подаються через співвідношення величин інтенсивностей на головній та другорядній дорозі. Пропонується розглядати транспортні засоби як рівноправні без надання пріоритетності одному з напрямків і визначати якість регулювання транспортних потоків через сумарну або середню затримку транспортних засобів на перехресті.

У ролі технологічного алгоритму ГМР розглядався алгоритм *порівняння концентрації транспорту на напрямку з зеленим сигналом з затримкою на напрямку з червоним сигналом*, що побудований за принципом мінімізації сумарних затримок [2].

Розрахунки затримок при моделюванні роботи перехрестя за умов функціонування гнучких та жорстких методів виконувались паралельно для кожного значення сумарної годинної інтенсивності перехрестя  $\sum N_{II}$  в декілька етапів. Це дозволило оцінити розмір скорочення середньої затримки  $\Delta \bar{d}$  та сумарної затримки транспортних засобів на перехресті  $\Delta \sum d_{II}$  приведені до одиниці часу при застосуванні ГМР за розробленим автором алгоритмом [1]. Нижче наведено результати розрахунків, що ілюструють скорочення середньої  $\Delta \bar{d}$  та сумарної тривалості затримок  $\Delta \sum d_{II}$ .



**Рисунок 1** – Графік залежності скорочення середньої  $\Delta \bar{d}$  та сумарної затримки  $\Delta \sum d_{II}$  транспортних засобів в залежності від рівня завантаження перехрестя рухом  $Z$  при функціонуванні ГМР в порівнянні з затримками при ЖМР

Визначення величини скорочення середніх транспортних затримок  $\Delta \bar{d}$  на перехресті при впровадженні ГМР (за рівних значень сумарної інтенсивності на перехресті за умов функціонування ЖМР) вказує на лінійний характер залежності і доводить, що значення її максимуму спостерігається при низьких рівнях завантаження, а мінімуму при  $Z = 1$ , натомість максимум скорочення

сумарних транспортних затримок  $\Delta \sum d_{\pi}$  спостерігається при завантаженні рухом, близькому до 0,5.

Аналіз ефективності ГМР здійснено на базі порівняння річних приведених витрат при функціонуванні ЖМР з витратами при ГМР. Розрахунки актуальні для вирішення практичної задачі у випадку переобладнання існуючого перехрестя, що раніше працювало в режимі жорсткого регулювання, новітніми технологіями організації дорожнього руху.

У якості міри ефективності функціонування того чи іншого виду світлофорного регулювання пропонується показник співвідношення зиску (через економію від скорочення затримок транспортних засобів) і витрат, який обчислюється як відношення суми приведених вигід до суми приведених витрат за інвестиційним проектом і має нормативне значення:

$$B/C = \frac{\sum_{t=1}^n B_t / (1+k)^t}{\sum_{t=1}^n C_t / (1+k)^t} \quad (2)$$

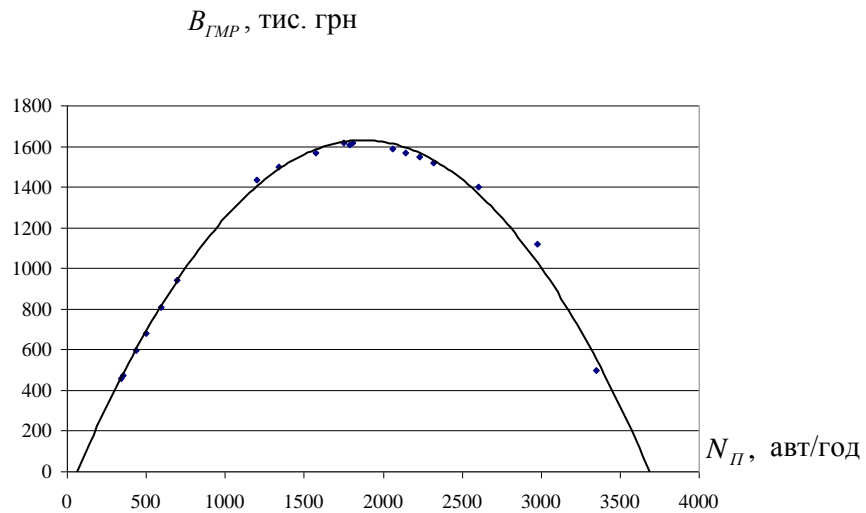
Правила роботи з критерієм співвідношення вигоди-витрати передбачають, що:

- не повинен прийматися ні один інвестиційний проект, якщо не забезпечене значення співвідношення зиску-витрати, більше від 1;
- якщо інвестиційний проект формується в умовах фіксованого бюджету або серед інвестиційних проектів, що є взаємовиключними, то перевага має надаватися проектам, що характеризуються найбільшим значенням співвідношення зиску-витрат.

Витрати розуміються як капітальні вкладення, що на практиці позначають вартість основних фондів (нових або розширення, реконструкцію та модернізацію діючих).

Значення співвідношення (2) розраховано для різних рівнів завантаження. Це дало змогу в подальшому сформулювати умови впровадження ГМР на основі значень величини середньої годинної інтенсивності за добу для перехрестя.

На основі розрахованих значень фінансових показників, сформовано область ефективного функціонування ГМР, що наведена на рисунку 2.

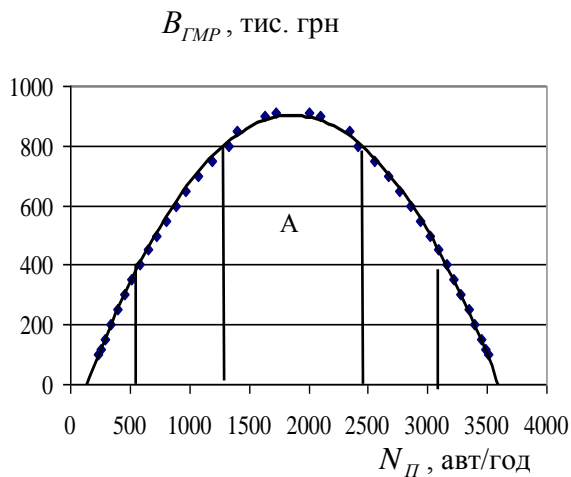


**Рисунок 2** - Область ефективного функціонування ГМР (розташована між лінією графіка і віссю  $N_{II}$ ) в залежності від значення середньодобової годинної сумарної інтенсивності руху на перехресті  $N_{II}$  і вартості проекту  $V_{GMP}$

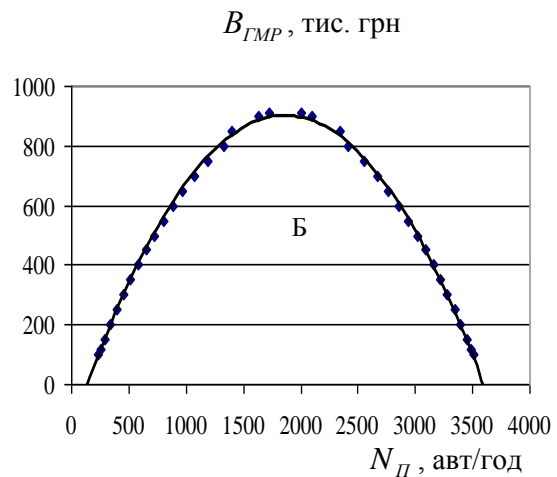
Крім того були розраховані значення показників при діапазоні завантажень перехрестя  $N_{II} = 344 \dots 3348$  авт/год і значень балансової вартості технічних засобів у межах  $K_e = 100 \dots 1700$  тис. грн. У такий спосіб була визначена гранична допустима вартість системи, що дає змогу здійснювати управління дорожнім рухом методами гнучкого місцевого регулювання залежно від інтенсивності руху.

З графіка видно, що впроваджувати ГМР доцільно насамперед на перехрестях з середньодобовою годинною інтенсивністю руху в межах 1500 авт/год ... 2500 авт/год. Це виправдано в умовах високої вартості проекту (розраховується на базі значень балансової вартості технічних засобів  $K_e$  і експлуатаційних витрат за рік  $V_e$ ) під час розроблення алгоритмів, технічних засобів. За умови наявності готових рішень із проектування і впровадження світлофорних об'єктів методами гнучкого СФР вартість облаштування в перерахунку на одне перехрестя знижується і сегмент ефективною області функціонування ГМР розширюється. Графічно це можна зобразити у вигляді рисунку 3 на прикладі двох значень вартості проекту.

При обчисленнях отримані результати щодо доцільності впровадження методів ГМР на ізолюваних перехрестях, які істотно відрізняються від чинних нормативів [3]. Рисунок 4 ілюструє відміни між обома рекомендаціями щодо впровадження гнучких методів регулювання з врахуванням нестационарної поведінки транспортних потоків.

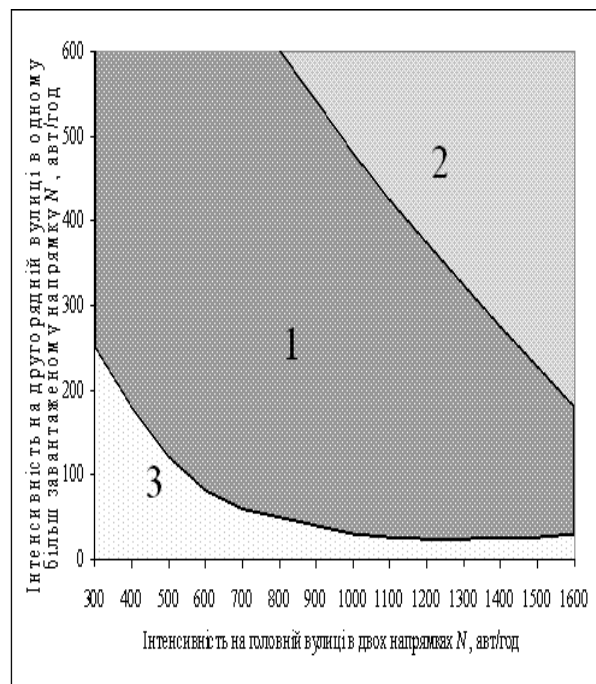
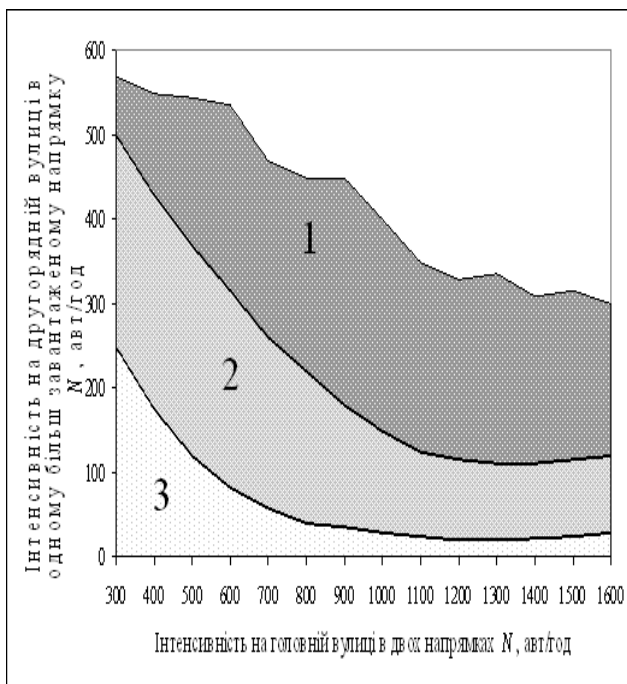


а)



б)

**Рисунок 3** – Область ефективного впровадження проектів ГМР на перехресті:  
 а) область А – вартість проекту становить 800 тис. грн; б) область Б – вартість проекту 400 тис. грн.



**Рисунок 4** – Області ефективного використання локальних методів регулювання по мінімальному завантаженню перехрестя протягом 8 годин з найбільш інтенсивним рухом транспорту

- 1 – рекомендована область для гнучких методів регулювання;
- 2 – рекомендована область для жорстких методів регулювання;
- 3 – нерегульована область.

## Висновки

1. Наразі регулювання транспортних потоків на перехрестях вулично-дорожньої мережі здійснюється переважно жорсткими методами. Водночас на базі новітніх технологій є можливість здійснювати світлофорне регулювання з урахуванням рівня стаціонарності параметрів транспортного потоку. Питання поширення таких технологій гальмуються відсутністю модернізованих нормативів і критеріїв щодо їх ефективного функціонування.

2. Проведений техніко-економічний аналіз доводить переваги і доцільність впровадження гнучких методів регулювання в запропонованій області ефективного застосування світлофорної сигналізації. Її конфігурація та розширення на противагу показникам, наведеним у чинних нормативних документах [3], зумовлені зниженням вартості сучасної апаратури та новими принципами визначення доцільності впровадження гнучких методів світлофорного регулювання.

## Література

1. Дідківська Л.С. Гнучкі методи світлофорного регулювання в умовах нестационарності параметрів транспортного потоку: дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01 / Л. С. Дідківська. – К., 2011. – 145 с.
2. Самойлов Д.С. Организация и безопасность городского движения : учебник для вузов. – [2-е изд., перераб. и доп. ил.] / Д.С. Самойлов, В.А. Юдин, П.В. Рушевский. – М. : Высш. шк. 1981. – 256 с.
3. Руководство по проектированию и внедрению автоматизированных систем управления дорожным движением на базе АССУД / под общ. ред. Г.Я. Волошина. – М. : ВНИИБД МВД СССР, 1981. – 232 с.