

Є. Ю. Форнальчик¹, І. В. Кузьо², В. В. Гілевич¹
 Національний університет “Львівська політехніка”,
¹кафедра транспортних технологій,
²кафедра механіки та автоматизації машинобудування

ДО ВИЗНАЧЕННЯ ЗАТРИМОК АВТОБУСІВ НА МАРШРУТАХ

© Форнальчик Є. Ю., Кузьо І. В., Гілевич В. В., 2019

Аналізом розподілу тривалості рейсів автобусів на міських маршрутах встановлено відхилення від графіків руху, вказаних у паспортах маршрутів. Запропоновано затримки на маршрутах (на прикладі проїзду регульованих перехресть) визначати, на відміну від загальноприйнятих підходів, окремо для міжпікових та пікових періодів їх роботи, що дасть змогу адекватніше розробляти графіки руху.

Ключові слова: затримки, автобуси, маршрути, регульовані перехрестя, черги, тривалість затримок, пікові та міжпікові періоди.

Ye. Fornalchyk, I. Kuzio, V. Hilevych

DETERMINING OF BUSES DELAYS ON THE ROUTES

With the analysis of distribution of the duration of buses' passage on urban routes was established the deviations from the traffic schedules according to the passport of routes. It was offered the delays on the routes (on the example of passage of regulated intersections) determine, in contrast to the generally accepted approaches, separately for inter-peak and peak periods of their work, which will allow more adequate development of traffic schedules.

Key words: delays, buses, routes, regulated intersections, queues, duration of delays, peak and inter-peak periods.

Формулювання проблеми та аналіз відомих досліджень і публікацій. Третину світлої пори доби людина витрачає на переміщення “дім–робота–дім”, використовуючи для цього громадський транспорт (80 % усіх, хто працює). Добирання за цим маршрутом відбувається, як правило, у ранкові та вечірні пікові періоди, коли ВДМ переповнена заторами і на якій різноманітні структури транспортних потоків (ТП). В результаті утворюються затори перед перехрестями і “тягучки” на прогонах між ними, які спричиняють затримки у русі як окремих ТЗ, так і усього ТП.

На означення затримок використовують різні поняття [1–10]: транспортна затримка, затримка транспортного потоку, затримка транспортних засобів (ТЗ). Їх, за відсутності тлумачення у Державному стандарті, трактують так: “...затримка, яка виникає в результаті зниження швидкості руху ТП, зумовленого роботою світлофорної сигналізації” [1]. Вона визначається різницею між фактичною тривалістю проїзду ТП перехрестя та тривалістю проїзду його ж у вільних умовах без дії СФР [2]. Важливим у цьому сенсі є розгляд можливих затримок автобусів, які працюють на міських маршрутах. Зробимо застереження: тут досліджено лише затримки, пов’язані з проїздом автобусів через регульовані та нерегульовані перехрестя, хоча відомо [11], що вони можуть виникати і під час виїзду автобусів із зупинних пунктів у транспортні потоки.

Основний матеріал. Фактична тривалість переміщення пасажирів за названими маршрутами виявляється більшою від розрахункової теоретичної чи змодельованої на комп’ютері з урахуванням заторів, чи навіть від регламентованих у паспортах. Від правильності вибору головних чинників, які

спричиняють затримки, залежить ступінь реальності їх значень й на підставі цього обґрунтованість відповідних рекомендацій щодо впорядкування руху ТП на ВДМ, зокрема, за рахунок перенаправлення частини ТП на перевантажених, як правило, магістральних вулицях в об'їзд цих ділянок на другорядні, що призведе одночасно до змін у структурах ТП та зниження їх інтенсивностей. Це стосується і автобусів, які працюють на міських маршрутах за відповідними графіками, дотримання яких у пікові періоди далеке від вимог паспортів, так само як і тривалості посадки і висадки пасажирів на зупинках. З метою скорочення тривалості автобусного сполучення для цих періодів необхідно зменшити кількість зупинок на маршрутах, що збільшить тривалості піших підходів до них. Незначна частка зростання такої тривалості в жодному разі не знизить ефекту від зменшення тривалості автобусного сполучення за рахунок підвищення середньої технічної швидкості та скорочення тривалості посадок–висадок пасажирів. Такого практика не відкидає. Однак потрібно спочатку проаналізувати режими роботи світлофорних об'єктів у зв'язку із запропонованими змінами у структурах ТП, їх швидкістю. Тобто потребуватиме коректування світлофорний цикл з урахуванням пріоритетів руху на магістральних напрямках, на яких велика частка громадського транспорту. Усе в комплексі буде спрямоване на зменшення затримок у русі ТП і окремих ТЗ на ВДМ міста.

Так звані затримки автобусів на міських маршрутах (у сучасному практичному та науковому розумінні) порушують графіки їх руху, спричиняючи відхилення від нормативів (зазначених у паспортах) щодо тривалостей рейсів. Виконавши дослідження [12] на прикладі маршрутів № 45 (сполученням ТРЦ Victoria Gardens – пл. Галицька) та № 9 (сполученням Автовокзал – с. Муроване) у м. Львові, ми встановили, що для першого, для якого тривалість рейсу за паспортом 35 хв, фактичні (математичні сподівання) у прямому 33,53 хв ($l_M = 7,45$ км), у зворотному – 31,57 хв ($l_M = 7,85$ км) з відповідними середньоквадратичними відхиленнями 3,28 та 4,32 хв і коефіцієнтами варіації 9,78 та 13,69 %. Для маршруту № 9 аналогічно: 74 хв; 71,15 хв ($l_M = 18,1$ км); 75,95 хв ($l_M = 18,3$ км); 6,23 та 6,51 хв; 8,75 та 8,57 % (рис. 1, 2). Середньоквадратичні відхилення з відхиленням від середніх значень у більшу сторону (а їх до 30 %) характерні для пікових періодів і найнегативніше впливають на порушення графіків руху і довір'я до них з боку пасажирів.

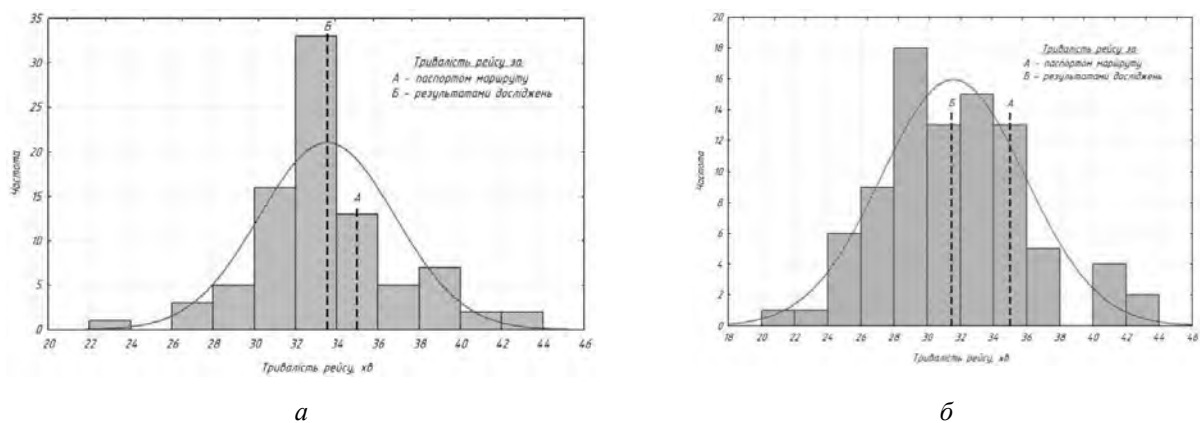


Рис. 1. Гістограми розподілів тривалостей рейсів на автобусному маршруті № 45 у прямому (а) та зворотному (б) напрямках

Відомо, що тривалості обороту автобусів на маршрутах обґрунтовують їх середньою технічною швидкістю, що визначається як відношення довжини маршруту до тривалості руху з урахуванням зупинок, пов'язаних з рухом, зокрема проїздом перехресть. У цю тривалість не входять витрати часу на посадку–висадку пасажирів на зупинках маршруту. Якщо цей час має явну імовірнісну природу, то час на долання регульованих і нерегульованих перехресть однозначно не можна зарахувати до такої категорії, оскільки, незалежно від наповненості салонів пасажирами, такі

перехрестя завжди потрібно проїжджати. Розкид фактичних значень тривалостей їх проїзду незначний, порівняно з тривалістю посадок–висадок пасажирів для різних періодів роботи автобусів на маршрутах (початок роботи, пікові періоди, завершення роботи). Однак проїзд перехрестя у пікові періоди, у зв'язку зі зростанням інтенсивностей ТП, за тривалістю відрізнятиметься від непікових (тривалість їх проїзду може бути у декілька разів більшою). Окремі дослідження підтверджують це, прийнявши за нормальний проїзд перехрестя у непікові періоди, коли на час заборонного сигналу світлофора перед стоп-лінією у черзі вісім транспортних засобів (зокрема автобуси), й усі вони на дозвільний сигнал долають перехрестя. Це, власне, нормальний за тривалістю проїзд і у жодному разі не затримка, а обов'язкова додаткова компонента технологічного процесу руху автобусів на маршруті, як у технологічних процесах, наприклад, механічної обробки (крім основної операції різання, до їх складу входять відповідні переходи, прийоми тощо; так само, як зварювання чи складання або інші). На ці додаткові (але обов'язкові) складові відводять і нормують відповідні часові витрати, й отримують загальну тривалість виконання технологічного процесу.

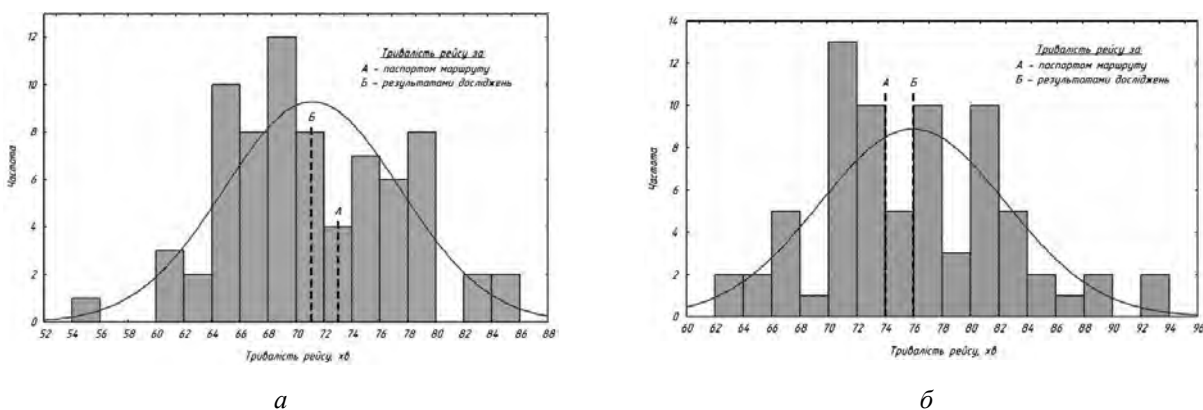


Рис. 2. Гістограми розподілів тривалостей рейсів на автобусному маршруті № 9 у прямому (а) та зворотному (б) напрямках

Встановлено [12] кореляційний зв'язок між середньою тривалістю такої затримки і тривалістю заборонного сигналу світлофора

$$t_{зам} = 0,602t_ч - 1,47, \quad (1)$$

де $t_ч$ – тривалість заборонного сигналу.

Для пікових періодів черги перед перехрестями значно більші й можуть досягати 40 ТЗ, тому, після того, як проїхали перших десять ТЗ, решта вимушені очікувати наступних дозвільних сигналів світлофора. За такої ситуації очікування проїзду потрібно кваліфікувати як власне затримки, а не як обов'язкову додаткову компоненту технологічного процесу руху. Отже, фактичними затримками у русі через перехрестя тих ТЗ, що у черзі перед стоп-лінією, потрібно вважати затримки, пов'язані з не першоразовим проїздом на дозвільний сигнал світлофора. Для другої та третьої “пачок” автомобілів, які очікують у черзі проїзду перехрестя, це реальні затримки, як, наприклад, невчасне подавання різального інструменту (деталі) у технологічному процесі механічної обробки. Кількість наступних заборонних сигналів світлофора $n_{заб}$, після яких можливий проїзд перехрестя, з відповідними тривалостями $t_ч + t_з$, визначатиме тривалість затримок на одному перехресті, тобто

$$t_{зам1} = n_{заб} (t_ч + t_з). \quad (2)$$

Ця тривалість реальних затримок ТЗ відрізнятиметься від поширеної, що враховує фактично проїзд перехрестя з черги перед стоп-лінією лише за першим разом першої “пачки” з десяти ТЗ. Встановлено, що для черги із 20–40 ТЗ перед стоп-лінією кількість заборонних сигналів може становити $n_{заб} = (2 - 4)(t_ч + t_з)$.

Якщо на маршруті декілька (або десяток) регульованих перехресть зі світлофорним регулюванням (n_{ce}), то за результатами окремих досліджень [13] можна визначити кількість зупинок ТЗ перед стоп-лініями на заборонні сигнали

$$n_{зуп} = 0,3285n_{ce} + 0,054. \quad (3)$$

На цих перехрестях, через які проїжджає маршрутний автобус, можливі сумарні фактичні затримки становитимуть

$$T_{зат} = n_{зуп}t_{зат1} = n_{заб} (t_4 + t_3) (0,3285n_{ce} + 0,054). \quad (4)$$

Оскільки упродовж зміни роботи автобусів на маршруті є два періоди – міжпіковий і піковий, то у першому тривалість затримок, пов'язаних з проїздом перехресть, потрібно розраховувати за формулою (1), а для пікового періоду – за запропонованою (4). В такому разі сумарні затримки із урахуванням кількості регульованих перехресть на маршруті руху автобусів для міжпікового періоду становитимуть

$$T_{зат,мн} = n_{зуп}t_{зат} = (0,3285n_{ce} + 0,054)(0,602t_4 - 1,47) = n_{ce} (0,198t_4 - 0,483) + 0,033t_4 - 0,079. \quad (5)$$

Для пікових періодів реальні сумарні затримки:

$$T_{зат,п} = n_{зуп}t_{зат1} = (0,3285n_{ce} + 0,054)n_{заб} (t_4 + t_3). \quad (6)$$

З урахуванням середнього значення заборонних сигналів, $n_{заб} = 3$,

$$T_{зат,п} = 0,986n_{ce} (t_4 + t_3) + 0,162. \quad (7)$$

Якщо врахувати отриману [11] залежність затримки автобуса, пов'язаної з виїздом його із зупинки у транспортний потік, яка визначається через співвідношення:

$$t_{зат,тп} = \frac{V_n}{a} (V_n - \text{швидкість транспортного потоку}; a - \text{прискорення автобуса}), \quad (8)$$

то загальну затримку для пікових періодів потрібно визначати сумою:

$$\sum T_{зат,п} = T_{зат,п} + T_{зат,тп} = 0,986n_{ce} (t_4 + t_3) + 0,162 + \frac{V_n}{a}. \quad (9)$$

Висновки. Отже, під час проектування нових чи вдосконалення чинних маршрутів потрібно враховувати завантаженість ВДМ, якою пролягають маршрути, і розглядати роботу автобусів у міжпікові та пікові періоди упродовж зміни й встановлювати для них адекватні часові інтервали руху з урахуванням відповідних затримок для цих періодів.

1. Форнальчик Є. Ю. *Управління дорожнім рухом на регульованих перехрестях у містах: монографія* / Є. Ю. Форнальчик, І. А. Могила, В. Е. Трушевський, В. В. Гілевич. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. – 236 с. 2. Левашев А. Г. *Проектирование регулируемых пересечений: учеб. пособ.* / А. Г. Левашев, А. Ю. Михайлов, И. М. Головных. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. – 216 с. 3. Гуль А. Є. *Методи розрахунку затримки транспорту* / А. Є. Гуль, О. В. Степанчук // *Проблеми розвитку міського середовища*. – 2017. – Вип. 1 (17). – С. 69–77. 4. Лабутин А. С. *Задержки транспорта на нерегулируемых пересечениях* / А. С. Лабутин // *Аллея науки*. – 2016. – № 3 (3). – С. 73–79. 5. Патент 105751 UA, МПК G08G 1/065 (2006.01) G08G 1/056 (2006.01) *Спосіб визначення затримок транспортних засобів на нерегульованому перехресті* / Денисенко О. В.; заявник Харківський національний автомобільно-дорожній університет. – № а 201311247; заявл. 10.02.2014; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 11, 2014 р. 6. Левтеров А. І. *Порівняльна характеристика деяких показників проїзду регульованих і нерегульованих перехресть* / А. І. Левтеров, О. В. Денисенко, А. М. Ярута // *Вестник ХНАДУ*. – 2013. – Вып. 61–62. – С. 106–109. 7. Патент 100660 UA, МПК G08G 1/09 (2006.01) *Спосіб визначення затримок транспортних засобів на регульованому перехресті та пристрій для його здійснення* / Левтеров А. І., Денисенко О. В., Ярута А. М.; заявник Харківський національний автомобільно-дорожній університет. –

№ а 201101931; заявл. 27.08.2012; опубл. 10.01.2013, Бюл. № 1, 2013 р. 8. Куниця О. А. Визначення дійсної транспортної затримки на нерегульованих перехрестях в одному рівні / О. А. Куниця, О. О. Закаблук // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту. – 2009. – № 2. – С. 46–51. 9. Грицунь О. М. Дослідження транспортних затримок на підходах до регульованих пішохідних переходів за різних режимів координації / О. М. Грицунь // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2016. – № 1 (225). – С. 55–59. 10. Форнальчик Є. Ю. До поняття “транспортна затримка” / Є. Ю. Форнальчик, В. В. Гілевич // Матеріали I Міжнародної конференції молодих вчених ЕМТ-2010. – Львів: НУЛП, 2010. – С. 64–65. 11. Горбачов П. Ф. Визначення часу затримки виїзду автобуса із зупинного пункту в потік автомобілів / П. Ф. Горбачов, О. В. Макаричев, С. В. Пронін, О. С. Колій // Автомобільний транспорт. – 2014. Вып. 35. – С. 116–121. 12. Форнальчик Є. Ю. Про “затримки” автомобілів і транспортних потоків на вулично-дорожній мережі міста / Є. Ю. Форнальчик, В. В. Гілевич // Тези доп. на III Всеукр. наук.-теор. конфер. “Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв’язання”. – Львів: НУЛП, 2019. – С. 43–45. 13. Степанчук О. В. Методологія підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міст : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : спец. 05.23.20 “Містобудування та територіальне планування” / О. В. Степанчук. – Київ: КНУБА, 2018. – 43 с.