



## ПРО ВАЖКІ ДО РОЗВ’ЯЗАННЯ ТРАНСПОРТНІ ПРОБЛЕМИ ВЕЛИКОГО МІСТА

**Анотація:** Проаналізовано дослідження, присвячені розв’язанню науково-прикладних задач впливу рівня автомобілізації на якість функціонування транспортних систем великих та значних міст, результати яких в сукупності покликані знижувати затримки перед перехрестями, перепробіги ТЗ, затори у ТП, забруднення відпрацьованими газами міського повітря. Запропоновано окремий підхід до визначення коефіцієнта зведення до легкового автомобіля з урахуванням стохастичності структур ТП.

**Ключові слова:** транспортні потоки, структура та їх інтенсивність, регульовані перехрестя, коефіцієнт зведення, технічний стан, автомобіль, його динамічність

**Аннотация:** Проанализированы исследования, посвященные решению научно-практических задач влияния уровня автомобилизации на качество функционирования транспортных систем больших и значительных городов, результаты которых в совокупности призваны снижать задержки перед перекрестками, перепробеги ТС, заторы в ТП, загрязнения отработанными газами городского воздуха. Предложен отдельный подход к определению коэффициента приведения к легковому автомобилю с учетом стохастичности структур ТП.

**Ключевые слова:** транспортные потоки, структура и их интенсивность, регулируемые перекрестки, коэффициент приведения, техническое состояние, автомобиль, его динамичность

**Annotation:** Analyzed research on the scientific and practical tasks impact the level of motorization on the quality of the transport system, large and significant cities, which together will reduce the delay before intersections, reruns of the TC, TP, congestion in exhaust gases of urban air pollution. A separate approach to determining factor for passenger cars, taking into account the stochastichnosti structures TP.

**Key words:** traffic flows, structure and their intensity, controlled junctions, the cast, the technical condition of the car, its dynamism.

### Вступ

Відомо, що вулично-дорожня мережа (далі – ВДМ) міст із раніше сформованою забудовою і плануванням, не може зазнавати істотних змін, зумовлених постійним зростом рівня автомобілізації. В Україні за останні 20 років він збільшився понад 2,5 рази [1]. Ці суб’єктивні неузгодженості є головною причиною у наростанні транспортних проблем. Серед них такі важливі, як недостатня пропускна здатність окремих вулиць, передовсім магістральних, перехресть (регульованих, саморегульованих і нерегульованих). Це призводить до зниження швидкості пересування [2], збільшення заторів, затримок, зросту забруднення повітряного басейну відпрацьованими газами двигунів транспортних засобів (далі – ТЗ) (між рівнями автомобілізації та обсягами токсичних викидів виявлена [3] функційна залежність з коефіцієнтом кореляції 0,76) й, зрештою, до зросту ДТП [4]. Кількість смертельних наслідків від ДТП  $D$  з урахуванням рівня автомобілізації визначають, користуючись формулою Рейбена Сміда [5] –  $D/P=0,0003(N/P)^{1/3}$  (тут  $P$  – чисельність населення у місті;  $N$  – кількість автомобілів). Також встановлена [6] лінійна залежність між рівнем автомобілізації та інтенсивністю міських транспортних потоків (далі – ТП), а також знайдена і невідповідність між непомірним зростом автомобілізації та стагнацією протяжності ВДМ [7].

Також відомо, що структури ТП (їх склад) мають стохастичну природу, яка не піддається особливому регулюванню забезпечення руху по окремих вулицях лише, наприклад, легкових ТЗ. Інколи таке реалізують встановленням відповідних заборонних і наказових знаків та, у результаті, отримують ніби покращення –

скорочення простоїв, зменшення заторів на них. Однак цей “покращений” рух ТЗ швидко вливається у ТП на вулицях, що не мають таких знакувань і, як наслідок, вдається в одному місці позбулися заторів, які відразу ж з’явилися на інших (суміжних) вулицях. Розвантаження перших також призводить до зросту сумарного перепробігу ТЗ і додаткових витрат часу та палива (зайве забруднення повітря) з причин об’їзду іншими маршрутами. У жодних публікаціях з цього приводу не досліджувалися “ефекти” в результаті таких процедур примусового регулювання структурами ТП. Зокрема не встановлено чи скорочення простоїв у заторах в одних ТП покриває перепробіги в інших. Окрім цього, не відомо на скільки недостатня ширина проїжджої частини зумовлює ці затори чи вона впливає на затори разом із тихохідними ТЗ (вантажівки, автобуси). Можливо ця тихохідність не на стільки викликана типом ТЗ, на скільки низьким технічним станом їх двигунів і трансмісій, що знижує тягову та гальмівну динамічності. Це підтверджує відповідна статистика значної кількості легкових, вантажних ТЗ та автобусів, які експлуатуються з термінами служби 5-8 і більше років (таких на ВДМ м. Львова у середньому 30 %). Про їх низький технічний стан засвідчують окремі дослідження як щодо легкових ТЗ (51 % їх перебувають у задовільному або ж поганому технічному стані [8]), так і щодо міських та приміських маршрутних автобусів (їхні розгінні швидкості, порівняно з новими, нижчі на 20-23 % [9]). Різної структури ТП, у складі яких швидкохідні та тихохідні ТЗ, зокрема з низьким технічним станом проїжджатимуть перехрестя і це в результаті позначиться на стартових затримках, на потоках насичення, чергах перед ними.



### Основна частина

Власне перехрестя найбільш причетне до проблем з рухом ТЗ по ВДМ міста. Ідеться про перехрестя різних типів і з різною кількістю примикань вулиць. Світлофорним регулюванням забезпечується відповідна черговість проїзду цих перехресть, при цьому найбільша частка горіння дозвільного сигналу надається потокові з примикання з найбільшою інтенсивністю. Як наслідок, також виникатимуть затримки, зумовлені не лише тим, який ТП головний (магістральний), а який другорядний, скільки йому “дали” зеленого чи заборонного сигналів, а й якої структури ці ТП, яка частка у них тихохідних та зношених ТЗ. Якщо з більшою часткою їх, то це призводить до зниження потоку насичення. Менша частка чи відсутність таких у ТП забезпечує інтенсивність проїзду перехрестя на рівні потоку насичення.

Щоб визначити якому ТП “дати” відповідну кількість секунд на проїзд чи його заборону, розрахунок світлофорного циклу виконують на основі попередньо визначеної інтенсивності різноструктурного ТП, перетворивши його на моноструктурний, користуючись відповідними коефіцієнтами зведення до легкового ТЗ. У результаті отримують умовний “однорідний потік” із зведеною інтенсивністю, більшою, ніж, якщо б він складався лише з легкових ТЗ. Чим більша частка тихохідних ТЗ у такому потоці (вантажних та автобусів), тим менша його швидкість проїзду перехрестя, тим більше часу потрібно відвести на горіння дозвільного сигналу, порівняно, якщо б у складі ТП була така сама кількість ТЗ, але лише легкових. Проте, за однакову тривалість горіння дозвільного сигналу світлофора у першому випадку проїде більша кількість ТЗ (лише легкові), ніж якщо у складі ТП є відповідна частка тихохідних ТЗ і не використовується коефіцієнт зведення до легкового ТЗ. Коефіцієнт зведення, який враховує динамічні габарити вантажівок та автобусів, умовно посилює інтенсивність проїзду перехрестя транспортним потоком, оскільки його значення більше одиниці. Цим забезпечується рівнозначність у проїзді регульованих перехресть моноструктурними та різноструктурними ТП. Якщо б не виконувались процедури зведення, то це б призводило до неадекватних результатів у визначенні тривалості світлофорних циклів і, як наслідок, донепомірного зростання черг перед перехрестями. Не зважаючи на врахування цього, у зоні перед перехрестями спостерігаються (особливо у пікові періоди) утворення черг і, відповідно, затримок. Однією з причин цього можна вважати неврахування імовірнісної природи інтенсивності та структур ТП.

Розглянемо порівняльну характеристику моноструктурних і різноструктурних ТП на основі зведення останніх до легкових ТЗ і порівняємо їх інтенсивності, з якими вони проїжджають перехрестя. Нехай, наприклад, у других ТП наявні 5; 10; 15; 20 % вантажних ТЗ (різної вантажності) разом із міськими маршрутними автобусами (різної пасажиромісткості). Попередніми натурними дослідженнями у піковий ранковий період встановлено інтенсивності ТП на прогонах між регульованими перехрестями: моноструктурний ТП – 1200 авт/год; різноструктурний – також 1200 авт/год. Із використанням ДБНівських середніх значень коефі-

цієнтів зведення (вантажні ТЗ з вантажністю до 8 т і автобуси середньої пасажиромісткості,  $K_{зв} = 2,5$ ) [10] розрахуємо зведені інтенсивності різноструктурних ТП, у яких зазначені вище частки вантажних та автобусів (в од./год):

$$N_{зв} = N_{л} + N_{в} K_{зв.в} + N_{авт} K_{зв.авт};$$

$$N_{зв.5} = 1160 + 60 \cdot 2,5 = 1310; N_{зв.10} = 1080 + 120 \cdot 2,5 = 1380; \quad (1)$$

$$N_{зв.15} = 1020 + 180 \cdot 2,5 = 1470; N_{зв.20} = 960 + 240 \cdot 2,5 = 1560.$$

Якщо однорідний ТП характеризується постійною (у межах досліджуваного періоду) інтенсивністю, то неоднорідний може набувати різних значень, які перевищуватимуть першого завдяки зведенню до легкового ТЗ. Чим більша частка вантажних ТЗ і автобусів, тим вища інтенсивність зведеного ТП. Зростання, як у наведеному прикладі, на 20% у ТП тихохідних ТЗ, які наближаються до перехрестя, диктуватиме видовження тривалості горіння дозвільного сигналу. Про це засвідчує збільшення зведеної інтенсивності в 1,3 рази, порівняно з однорідним ТЗ (з 1200 до 1560 од./год).

Інтенсивності ТП для будь-яких періодів доби, місяця, сезону набувають наперед невідомих і непрогнозованих випадкових значень. Тобто інтенсивність транспортного потоку, рівно ж як і наявність в ньому різних типів ТЗ – випадкові величини, зумовлені випадковою появою у них певної кількості легкових, вантажних ТЗ і автобусів. У зв'язку з цим нормовані коефіцієнти зведення потрібно розглядати не у функційній залежності міжінтенсивністю різних типів ТЗ у ТП, а у стохастичній, у якій замість фіксованих значень  $N$  відповідні імовірнісні параметри розподілу їх (математичне сподівання, емпірична частість). Врахування ймовірності появи різних типів ТЗ у транспортному потоці під час визначення потоків насичення можна знайти у дослідженні [11].

З урахуванням достатньо великої кількості проведених натурних досліджень на ВДМ щодо структур ТП та їх інтенсивності можна визначити емпіричну частість наявності у ТП відповідних ТЗ –  $p_i$ . На підставі цього для відповідного пікового періоду з імовірністю  $p_i$  можна стверджувати, що у ТП буде наявна така-то кількість легкових, вантажних ТЗ і автобусів чи лише легкових ( $p_i=1$ ). Отже, зведену інтенсивність потоку, як випадкову величину, потрібно визначати за виразом:

$$\overline{N_{зв}} = \overline{N_{л}} p_{л} + \overline{N_{в}} p_{в} K_{зв.в} + \overline{N_{авт}} p_{авт} K_{зв.авт}, \quad (2)$$

тут  $\overline{N_{л}}$ ,  $\overline{N_{в}}$ ,  $\overline{N_{авт}}$  – враховані математичні сподівання інтенсивності різних типів ТЗ у ТП на основі статистичних даних отриманих, наприклад, півгодинними натурними дослідженнями;  $p_{л}$ ,  $p_{в}$ ,  $p_{авт}$  – емпіричні частоті, які відповідають відповідним математичним сподіванням інтенсивності різних типів ТЗ.

Повертаючись до наведеного вище прикладу, емпіричні частоті інтенсивності різних типів ТЗ у ТП: для однорідного ТП -  $p_{л}=1$ ; для різнорідних, для 1-го потоку:  $p_{л}=0,95$ ;  $p_{в}=0,05$ ;  $p_{авт}=0,05$ ; для 2-го:  $p_{л}=0,90$ ;  $p_{в}=0,10$ ;  $p_{авт}=0,10$ ; для 3-го:  $p_{л}=0,85$ ;  $p_{в}=0,15$ ;  $p_{авт}=0,15$ ; для 4-го:  $p_{л}=0,80$ ;  $p_{в}=0,20$ ;  $p_{авт}=0,20$ .

У структурі ТП серед вантажних ТЗ і автобусів є такі, які характеризуються понаддопустимими зносами



деталей циліндро-поршневої групи ДВЗ (результати дослідження впливу пробігів легкових ТЗ на знос цих деталей наведені у [12]), що безпосередньо впливає на тягову динамічність їх і, як наслідок – знижує розгінні швидкості. Останнє позначається на стартових затримках перед перехрестями та на швидкостях проїзду їх. Відповідно, під час визначення інтенсивності різноструктурного ТП зі стохастичним підходом потрібно враховувати, крім цього, і частку зношених ТЗ. Цю частку можна оцінити за віковою характеристикою або ж за кумулятивним пробігом із загальної чисельності таких типів ТЗ, які перебувають щоденно на ВДМ міста. Як було показано раніше іншими дослідниками [8], серед автомобілів із терміном служби більшим шести років, які характеризуються поганим технічним станом нараховується в середньому 6%. Нашими дослідженнями встановлено [9], що розгінні швидкості автобусів середньої пасажиромісткості з кумулятивними пробігами від 125 тис. км до 161 тис. км знижуються з причин погіршення технічного стану на 20-23 %. Вони також знижуються і залежно від ступеню використання вантажності чи наповненості салонів автобусів пасажирами, що зумовлює зниження на 21 % усталеного сповільнення з 8,6 (незаповнений салон) до 6,77 м/с<sup>2</sup> [13].

Отже, у формулу (2) потрібно ввести показник, який би враховував ступінь втрати тягової динамічності з причини погіршення технічного стану ТЗ (зумовлює ріст стартових затримок та тривалості проїзду перехрестя) та зниження сповільнення (зумовлює збільшення гальмівного шляху). Ці негативні чинники безпосередньо впливають на технологічний процес проїзду перехрестя, знижуючи його ефективність. Оскільки виключити цей вплив неможливо, тому потрібно корегувати світлофорний цикл з тим, щоб збільшити тривалість горіння дозвільного сигналу для пропуску більшої кількості ТЗ такого ТП.

Показник зниження тягової динамічності  $K_{зн.дн}$  можна оцінити співвідношенням між фактичною розгінною швидкістю  $V_{роз}$  і такою ж нормативною  $V_{роз}^H$  для нового (незношеного) ТЗ:

$$K_{зн.дн} = \frac{V_{роз}}{V_{роз}^H} \quad (3)$$

За попередньо отриманими результатами [9] цей коефіцієнт може набувати значень у межах 0,8-1,0.

Якщо розділити фактичне значення гальмівного шляху  $S_{гал}$  на нормативне для відповідного типу ТЗ  $S_{гал}^H$ , то отримаємо показник зниження гальмівної динамічності його:

$$K_{зн.зл} = \frac{S_{гал}}{S_{гал}^H} \quad (4)$$

Вище, на прикладі автобусів середньої пасажиромісткості, встановлено [13], що для гранично заповненого салону гальмівний шлях може збільшитися на 20 %, тобто коефіцієнт  $K_{зн.зл}$  може набувати значень від 1,0 до 1,2.

Очевидно, що ці коефіцієнти повинні збільшувати значення зведеної інтенсивності  $N_{зв.б}$  й тому:

$$\overline{N_{зв.б}} = \overline{N_{лп}} + \overline{N_{бп}} K_{зв.б} \frac{K_{зн.зл}}{K_{зн.дн}} + \overline{N_{октп}} K_{зв.окт} \frac{K_{зн.зл}}{K_{зн.дн}} \quad (5)$$

## Висновки

Таким чином, використання у розрахунках світлофорних циклів стохастичного підходу до визначення інтенсивності моноструктурних і різноструктурних транспортних потоків з урахуванням відповідних коефіцієнтів зведення, а також коефіцієнтів зниження тягової динамічності транспортних засобів із причин понаднормативних зносів деталей і рівнів використання вантажності та пасажиромісткості, дасть змогу адекватніше враховувати фізичні стани транспортних потоків, що призведе до скорочення простоїв транспортних засобів у чергах перед перехрестями.

## ЛІТЕРАТУРА

- 1. Янішевський С.В.** Дослідження транспортних потоків на підходах до значних та найзначніших міст / С.В. Янішевський, А.О. Корчевський // Вісник НТУ. – 2012. – Вип. 26. – С. 391-394.
- 2. Лобашов О.О.** Вплив параметрів транспортних мереж значних і найзначніших міст на швидкість транспортних потоків / О.О. Лобашов, С.Б. Дульфан // Наук.-техн. зб. Муніципальне господарство міст. – № 109. – Харків, 2013. – С. 107-110.
- 3. Габрель М.С.** Організаційно-економічний механізм регулювання розвитку транспортної інфраструктури міста: Автореф. ... канд. екон. наук. – Львів, 2010. – 24 с.
- 4. Туренко А.М.** Проблемні питання визначення параметрів руху транспортних засобів при дослідженні ДТП / А.М. Туренко, В.І. Клименко, О.В. Сараєв // Автомобільний транспорт. – 2012. – Вип. 32. – С. 142-144.
- 5. Веселов М.Ю.** Сутність та зміст організації дорожнього руху / М.Ю. Веселов, Є.І. Сараєв // Проблеми підвищення рівня безпеки, комфорту та культури дорожнього руху. Організаційно-правові аспекти забезпечення безпеки дорожнього руху: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 16-17 квітня 2013 р.). – Х. : ХНАДУ, 2013. – С. 50-52.
- 6. Доля В.К.** Моделювання впливу рівня автомобілізації на ефективність функціонування транспортної мережі / В.К. Доля, О.О. Лобашов, О.В. Прасоленко // Вісник Донецької академії автомоб. трансп. – 2010. – № 3. – С. 19-22.
- 7. Буринскене М.Ч.** Моделирование транспортной инфраструктуры с использованием информационных систем / М.Ч. Буринскене, Р.Р.Ушпалите // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния / Материалы IX международной (двенадцатой екатеринбургской) научно-практической конференции 16-17 июня 2003 года. – Екатеринбург: АМБ, 2003. – С. 20-26.
- 8. Ваксман С.А.** Оценка отношения владельцев личных автомобилей к их техническому состоянию в целях безопасности движения / С.А. Ваксман, О.С. Рогожкина // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния / Материалы X международной (тринадцатой екатеринбургской) научно-практической конференции. – Екатеринбург: АМБ, 2004 – С. 32-35.
- 9. Форнальчик Є.Ю.** Взаємозв'язок між технічним станом автомобілів та їх розгінними швидкостями / Є.Ю. Форнальчик, В.В. Гілевич // Автошляховик України, 2013. – № 6. – С. 5-7.
- 10. Державні будівельні норми України.** Споруди транспорту. Автомобільні дороги. ДБН В.2.3.-4:2007. – К: Мінрегіонбуд України, 2007. – 91 с.
- 11. Малишев А.В.** Врахування складу транспортного потоку при визначенні потоків насичення для світлофорного регулювання / А.В. Малишев, О.М. Дудніков, В.В. Нужний // Вісті автомобільно-дорожнього інституту. – Донецьк, 2010. – №1(10). – С. 69-75.
- 12. Магопечь С.О.** Динаміка зношування деталей циліндро-поршневої групи двигунів автомобілів ВАЗ залежно від напрацювання / С.О. Магопечь, О.В. Бевз, С.С. Романенко // Вісник КрНУ ім. М. Остроградського. – Кремчук, 2011. – Вип.4 (69). Частина 1. – С. 43-48.
- 13. Могила І.А.** Вплив наповнення салону автобуса пасажирами на довжину гальмівного шляху / І.А. Могила, Р.М. Цір // Вісник ХНАДУ. – 2013. – Вип. 61-62. – С. 200-204.