

9. Zhang D.P., Hua X.Y. Research on Energy Saving and Emission Reduction Countermeasures for China's Logistics Industry. *Advanced Materials Research*. 2013. Vols. 734-737, P. 1925-1928.
10. Kopytkov D., Pavlenko O. An approach to determine the rational scheme of delivery for the international consolidated shipments. *Комунальне господарство міст*. 2019, № 147 (1), 35-41.
11. Shramenko N., Muzylyov D., Shramenko V. Model for choosing rational technology of containers transshipment in multimodal cargo delivery systems. *Sarajevo*. 2020, 621-629.
12. Wang, Y., *Low-Carbon Logistics and Sustained Economic Cycle for Manufacturing Engineering. Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vols. 484-485. P. 264-267.
13. Shramenko N., Pavlenko O., Muzylyov D. Logistics Optimization of Agricultural Products Supply to the European Union Based on Modeling by Petri Nets. In: Karabegović I. (eds) *New Technologies, Development and Application III. NT 2020. Lecture Notes in Networks and Systems*, 128. Springer, Cham, 2020, 596-604.
14. Павленко О.В., Музильов Д.О. Стабільна модель функціонування логістики для постачання швидкопсувних продуктів маршрутами Україна – Польща. *Комунальне господарство міст*, 2023. Т. 1, Вип. 175, 237-242.
15. Shaabani H. A literature review of the perishable inventory routing problem. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*. 2022, Volume 38, Issue 3, 143-161.
16. Shramenko N., Muzylyov D., Shramenko V. Rationalization of Grain Cargoes Transshipment in Containers at Port Terminals: Technology Analysis and Mathematical Formalization. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. 2021, 96-105.
17. Kopytkov D., Pavlenko O., Kalinichenko O. A technique to determine the optimum package of logistic services provided by the transport and logistics centre. *Modern Management: Logistics and Education. Monograph*. 2018, 150-157.
18. Pavlenko O., Muzylyov D., Shramenko N., Cagaňová D., Ivanov, V. Mathematical Modeling as a Tool for Selecting a Rational Logistical Route in Multimodal Transport Systems. In: Cagaňová, D., Horňáková, N. (eds) *Industry 4.0 Challenges in Smart Cities. EAI/Springer Innovations in Communication and Computing*. Springer, Cham., 2023, 23-37.

**УДК 656.051**

**ФОРМАЛІЗАЦІЯ ЧАСУ ВИПЕРЕДЖЕННЯ ВКЛЮЧЕННЯ ДОЗВОЛЯЮЧОГО СИГНАЛУ СВІТЛОФОРУ НА ОСНОВІ ЛІНІЙНОСПАДАЮЧОГО ПРИСКОРЕННЯ ДОДАТКОВИХ АВТОМОБІЛІВ**

*Любий Є.В., к.т.н., доцент, Діденко К.В., студентка магістратури  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

**FORMALIZATION OF THE OFFSET AT TRAFFIC SIGNAL BASED ON THE LINEARLY DECREASING ACCELERATION OF ADDITIONAL VEHICLES**

*Liubyi Ye.V., PhD of Engineering, Associate Professor, Didenko K.V., Master's Student  
Kharkiv National Automobile and Highway University*

Загальноприйнятим уявленням про рух транспортного засобу координованою ділянкою магістралі є рух з постійною швидкістю, що добре проілюстровано на просторово-часовій діаграмі [1], на якій це відображено прямими похилими лініями «BEGINNING OF VEHICLE BAND» і «END OF VEHICLE BAND», які позначають межі просування пачки автомобілів (рис. 1). Ця постійна швидкість включається в розрахунки параметру зсуву початку циклу на кожному координованому перехресті відносно часу його початку на першому перехресті в координації. Слід розуміти, що в реальності рух транспортних засобів не є таким ідеальним, як показано на просторово-часовій діаграмі, через індивідуальний характер водіння учасників дорожнього руху, але це не вважається проблемою, оскільки основним завданням планів координації є лише створення умов для максимально вільного

проїзду координованої ділянки, якими водії можуть скористатися, а тому рівномірний рух, врахований у розрахунках, є цілком прийнятним при визначенні зсувів [2].

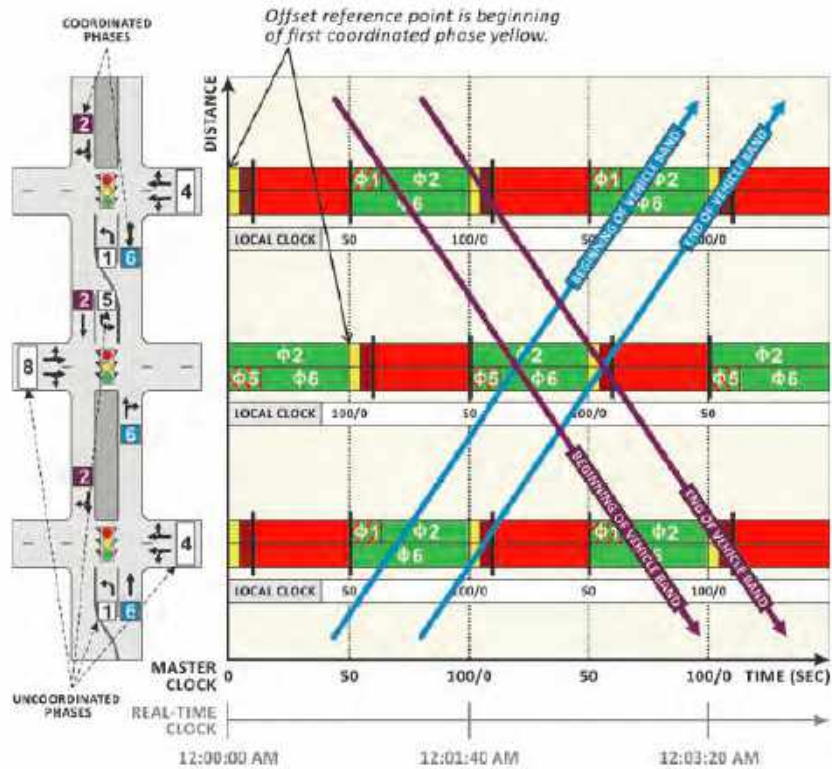


Рис. 1 – Основна ПЧД лінійної координації

Але забезпечити можливість рівномірного руху для пачки зеленої хвилі, при наявності перед стоп-лінією кожного з перехресть координованої ділянки автомобілів, які очікують включення дозвільного сигналу для початку руху, набагато складніше, ніж без них. Для цього дозвільний сигнал за напрямом руху пачки зеленої хвилі необхідно включати заздалегідь, до її прибуття на координоване перехрестя, щоб надати можливість додатковим автомобілям розігнатися з нульової швидкості до швидкості руху пачки зеленої хвилі. Цей період називається «часом випередження» включення зеленого сигналу на світлофорі по відношенню до розрахункового часу прибуття першого координованого автомобіля [3].

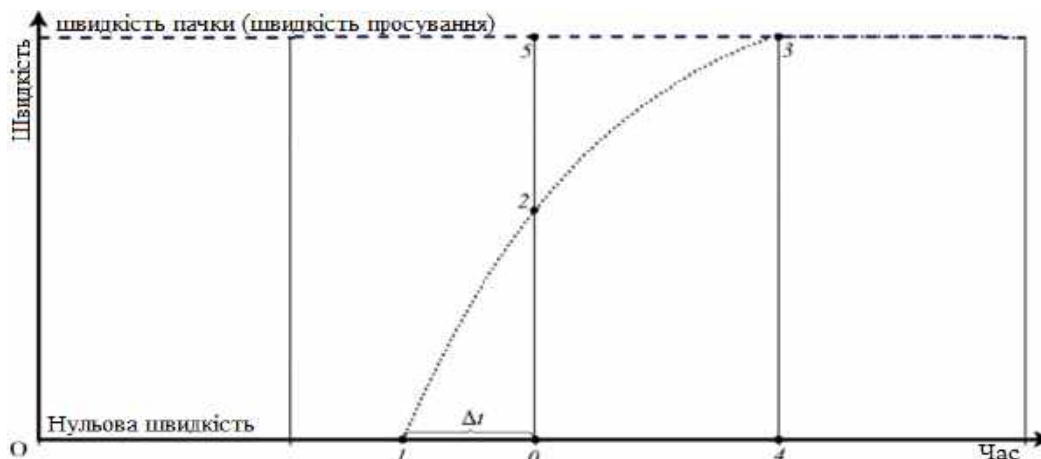
Накопичення автомобілів перед стоп-лінією чергового координованого перехрестя за час забороняючого руху зеленої хвилі сигналу світлофору є об'єктивною реальністю в процесі функціонування координованого фрагменту ділянки магістралі. Основним, але не єдиним джерелом появи цих автомобілів на магістралі, що координується, є транспортні потоки з другорядних під'їздів до магістралі відповідних напрямів [2]. Окрім них, додаткові автомобілі можуть з'являтися з прилеглих територій і паркувань на проїзній частині. До них також відносяться автомобілі, які здійснили розворот на попередньому перехресті при русі координованою ділянкою магістралі в зустрічному напрямі та залишки пачки зеленої хвилі з числа транспортних засобів, які не встигли подолати перехрестя за виділений для них у циклі дозвільний сигнал.

Ці джерела формують протягом світлофорного циклу випадкову кількість додаткових автомобілів, тож і результат їхнього накладання є випадковим. Відповідно, випадковим буде й час випередження, необхідний для забезпечення рівномірного руху транспортних потоків координованою ділянкою магістралі. Додатковий елемент випадковості в цей час вносить індивідуальний характер водіння учасників руху, поведінка яких у значному ступені залежить від поведінки інших водіїв, якщо вони знаходяться в щільному трафіку. До цього слід додати різні технічні характеристики додаткових автомобілів, що в підсумку приводить до їхнього різного прискорення, а прискорення останнього з них залежить навіть від порядку розташування різних водіїв у черзі.

Основною характеристикою випадкової величини є її закон розподілу [4], а тому повна оцінка шуканої величини означає визначення виду та параметрів розподілу часу, необхідного для забезпечення рівномірного руху транспортного потоку координованою ділянкою магістралі. Але в даному випадку, коли робиться спроба отримати загальне уявлення про процес взаємодії пачки зеленої хвилі та додаткових автомобілів, така оцінка виглядає дещо надлишковою. Це стає ще очевиднішим якщо зрозуміти, що процес визначення виду та параметрів розподілу шуканої величини є вже доволі складним ще без урахування індивідуальної складової, а її врахування, на основі натурних спостережень у конкретному місці, в значному ступені позбавляє отриману оцінку загального характеру.

У цьому процесі апріорі очевидним є факт, що чим більше додаткових автомобілів накопичується перед стоп-лінією світлофора, тим більше потрібно часу для їх розгону до швидкості руху пачки зеленої хвилі. Користуючись даною властивістю часу випередження, можна значно спростити як процес отримання шуканого параметру, так і його розуміння, якщо задатись метою отримання його нижньої оцінки – для одного додаткового авто. Така оцінка в значному ступені позбавлена впливу індивідуальної складової в часі випередження за рахунок відсутності у водія першого авто залежності від поведінки інших учасників руху. Залишкова частина індивідуальної складової автоматично усереднюється завдяки циклічному характеру світлофорного регулювання та великій кількості реалізацій у процесі розгону першого авто з числа додаткових протягом доби або, навіть однієї години [2]. Тому нижня оцінка часу випередження на основі лінійноспадаючого прискорення одного додаткового авто в умовах вільного руху має високу інформативність, є повністю зрозумілою та здатна привести до отримання нового уявлення про процеси руху транспортного потоку в умовах скоординованої роботи світлофорних об'єктів.

Ситуацію взаємодії пачки зеленої хвилі з додатковими автомобілями на перехресті можна проілюструвати на графіку «час – швидкість», на якому швидкість відображається безпосередньо, лінійноспадаюче прискорення автомобіля представляється кутом нахилу прямої швидкості, а пройдений шлях – площею фігури під лінією швидкості (рис. 2).



Умовні позначення:

— — — — — швидкість просування пачки;

..... – швидкість додаткового транспортного засобу;

0 – момент прибуття пачки на перехрестя, тобто розрахунковий час увімкнення дозволяючого сигналу;

1 – момент випереджальної активації дозволяючого сигналу для забезпечення рівномірного руху пачки;

3 – момент злиття пачки з додатковим автомобілем;

2, 4, 5 – позначення характерних точок геометричних фігур;

$\Delta t$  – випередження часу увімкнення дозволяючого сигналу світлофора.

Рис. 2 – Швидкість просування пачки та додаткового автомобіля за умови завчасного увімкнення дозволяючого сигналу світлофора

На графіку автомобіль представлений точкою, хоча в реальності він має не нульову довжину та момент злиття пачки зеленої хвилі з додатковим авто настає тоді, коли передній транспортний засіб з пачки наблизиться до його задньої точки на безпечну дистанцію, яка сумісно з довжиною авто утворює його динамічний габарит. Але цей габарит достатньо просто врахувати на останніх етапах розрахунків, коли зрозумілою стане основна частина часу випередження, для чого й призначена дана абстракція, яка дозволяє звести оцінку  $\Delta t$  до легко зрозумілої геометричної задачі.

#### **Список посилань.**

1. TRB, 2015. Signal Timing Manual. 2nd ed. Washington: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/22097>.
2. Любий Є.В., Горбачов П.Ф. Методика оцінки часу, необхідного для забезпечення рівномірного руху пачки автомобілів на координованій ділянці міської магістралі. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*. 2022. 22, с. 81-91. <https://doi.org/10.30977/VEIT.2022.22.0.2>.
3. TRB, 2000. Highway Capacity Manual, Washington: National Research Council.
4. Gnedenko, B.V., Ushakov, I.A., 1995. Probabilistic Reliability Engineering, Falk, J.A. (Ed.). Wiley-Interscience, New York.

**УДК 656.1**

### **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ АВТОБУСНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

*Нестеренко Г. І., к.т.н., доцент, Музикін М. І., к.т.н., Берестеньов О., студент  
Український державний університет науки і технологій*

### **INCREASING THE EFFICIENCY OF THE ORGANIZATION OF BUS TRANSPORTATION**

*Nesterenko H. I., Ph.D., associate professor, Muzykin M. I., Ph.D., Berestenev O., student  
Ukrainian State University of Science and Technology*

Сьогодні неможливо уявити жодну країну без стабільного функціонування транспортного комплексу. Життя ставить високі вимоги до рівня мобільності населення, крім того з кожним роком зростають потреби економіки в транспортних послугах. Тому ефективне функціонування транспортного комплексу має важливе соціальне значення для країни.

Пасажи́рський автомобільний транспорт – важлива складова частина виробничої інфраструктури України. Його стійке і ефективне функціонування є необхідною умовою стабілізації, підйому і структурної перебудови економіки, особливо після перемоги України в цій війні, забезпечення цілісності країни, а також покращення умов і підвищення рівня життя населення.

Одним з основних факторів, що впливають на розвиток автомобільного транспорту є відсутність на ринку автопідприємств державної форми власності. В той же час, цей сектор ринку залишається достатньо відкритим, що у свою чергу є одним із основних чинників удосконалення конкурентного середовища. Це сприяє підвищенню рівня якості транспортних послуг при перевезенні пасажирів автомобільним транспортом.

Перед транспортниками постають завдання своєчасно задовольняти потреби в перевезеннях, вдосконалювати організацію перевезень, забезпечити повне транспортне обслуговування, підвищувати якість і ефективність роботи, оновлювати структуру транспортних засобів, розвивати і вдосконалювати виробничо-технічну базу, впроваджувати прогресивні технології, підвищувати рівень безпеки перевезень, знижувати негативний вплив на навколишнє середовище, забезпечувати впровадження комп'ютерних систем в