

УДК 330.342.3

JEL L91, R41, R49, O32

DOI 10.32782/2786-8273/2023-3-6

Захаров Д.С.

кандидат технічних наук, докторант,
Харківський національний університет міського
господарства імені О.М. Бекетова
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5751-6771>

Denys Zakharov

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

ЕКОНОМІЧНІ ПЕРЕВАГИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ КОРИДОРІВ В СИСТЕМАХ VISSIM ТА VISUM

ECONOMIC ADVANTAGES OF THE SIMULATION OF TRANSPORT CORRIDORS IN THE VISSIM AND VISUM SYSTEMS

Анотація. У статті розглянуті основні напрямки та принципи щодо перспектив розвитку транспортних систем українських міст в контексті створення розумних світлофорних об'єктів, які мають своєю кінцевою метою створення smart-коридорів, які, в свою чергу, мають мінімізувати затори на автошляхах та навести лад з організацією дорожнього руху. Розглядається економічна ефективність створення smart-коридорів та фактори, за рахунок яких вона досягається. Прیدілено увагу соціальному ефекту від впровадження цих заходів та необчислювальним економічним ефектам, що досягаються від їх впровадження. Більш загальною метою статті є надання доказів економічних переваг застосування методів імітаційного моделювання економічних систем на стадії до початку проєктування та будівництва. Отже, успішне керування дорожнім рухом є прикладом інновацій в сфері перевезення пасажирів та цілком узгоджується зі світовими тенденціями розвитку міського громадського транспорту.

Ключові слова: міський громадський транспорт, транспортні системи, розумні світлофори, smart-коридори, імітаційне моделювання.

Abstract. Introduction. The constant complication of real economic systems (the transport systems of Ukrainian cities are no exception) requires constant improvement of the analysis of their possible behavior in the process of development. IT programs VISSIM for micro-modeling VISUM – for macro-modeling are used for transport planning and modeling of the behavior of traffic flows on highways, as well as for calculation of CO₂ emissions. Their economic efficiency is proven in this article. **Purpose.** The more general purpose of the article is to provide evidence of the economic advantages of applying the methods of simulation modeling of economic systems at the stage before the start of design and construction. **Methods.** Analysis, synthesis, comparison, systematic approach, methods of logical generalization, method of analogies, methods of simulation modeling, economic and mathematical methods, etc. **Results.** The article proves that the main directions and principles regarding the prospects for the development of transport systems of Ukrainian cities in the context of the creation of smart traffic light objects, which have as their ultimate goal the creation of smart corridors, which, in turn, should minimize traffic jams on highways and bring order to organization of traffic, is the use of simulation tools, in particular IT programs VISSIM and VISUM. The economic efficiency of creating smart corridors is proved and the factors due to which it is achieved are considered. Attention is paid to the social effect of the implementation of these measures and the incalculable economic effects. It has been proven that it is necessary to reduce the inflow of motor vehicles into cities and measures to curb them have been considered. Therefore, successful traffic management is an example of innovation in the field of passenger transportation and is fully consistent with global trends in the development of urban public transport. The post-war recovery and further development of the transport systems of Ukrainian cities must adhere to the principles set out in particular in this article.

Keywords: urban public transport, transport systems, smart traffic lights, smart corridors, simulation modeling.

Постановка проблеми. Постійне ускладнення реальних економічних систем (транспортні системи українських міст – не є виключенням) вимагає постійного вдосконалення аналізу їхньої можливої поведінки в процесі розвитку, науково-спрогнозованого передбачення процесів розвитку, прогнозування реакцій на внутрішні та зовнішні фактори впливу, прогнозування наслідків та можливих ризиків від тих чи інших економічних заходів, розробки управлінських рішень на всіх рівнях господарської ієрархії управління. Зараз для цього широко використовуються комп'ютерні програми та різноманітні математичні методи, а кінцева мета досліджень полягає у ефективному вирішенні економічних та/або управлінських завдань, що іноді важко формалізуються.

Так, для здійснення транспортного планування та моделювання поведінки транспортних потоків на автошляхах міст, а також обрахунку викидів CO₂ від двигунів внутрішнього згоряння транспорту, що рухається, застосовується ІТ-програма VISSIM для мікро-моделювання (наприклад, в рамках одного перехрестя чи певної ділянки вулиці) та програма VISUM – для макро-моделювання (в рамках одного міста або одного транспортного району міста). Основне завдання використання вищезгаданих програм – зробити безпечним та збалансованим рух на автошляхах для всіх учасників дорожнього руху, налаштування розумних світлофорів та мінімізація заторів. Дана стаття буде присвячена економічним перевагам застосування вищезгаданого програмного забезпечення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематиці імітаційного моделювання поведінки транспортних систем присвячено доволі велика кількість наукових доробок, в тому числі таких, що мають економічну спрямованість. Р.В. Шамрін [1] та Ю.О. Власюк [2] досліджують поведінку та особливості імітаційного моделювання економічних систем у найбільш загальному вигляді. Ю.В. Жерновий [3] характеризує поведінку вже більш обмеженого кола економічних систем, а саме – імітаційне моделювання систем масового обслуговування. О.Ю. Палант [4–5] вдається ще до більш обмеженої проблематики імітаційного моделювання – до моделювання транспортних систем та конкретних процесів, що відбуваються під час їхнього життєдієвого циклу, наприклад, – до моделювання раціонального пасажиропотоку, підбору транспортних систем по критерію максимальної безвідмовності тощо. С.Н. Водовозов та ін. [6–8] досліджують застосування методів імітаційного моделювання для оцінки ефективності оптимізації маршрутів міського пасажирського транспорту та системи обслуговування пасажиропотоку громадського транспорту.

Однак, наукових статей економічної спрямованості щодо збалансованого руху на автошляхах, налаштування «розумних» світлофорів та мінімізації заторів виявилась недостатня кількість. Лише в монографії І.О. Башинської та В.Ю. Філіппова [9], розкриваючи суть впровадження концепції smart-city в управління великими містами України, розглядаються поняття розумних системами міського пасажирського транспорту як однієї зі складових «розумних» міст, і де приділено увагу налаштуванню роботи розумних світлофорів та мінімізації заторів на автошляхах.

Мета статті – надати докази економічних переваг застосування методів імітаційного моделювання економічних систем на стадії до початку проектування та подальшого будівництва.

Виклад основного матеріалу дослідження. На початку наведемо декілька основних (загальних) положень щодо методів імітаційного моделювання, які ми маємо охарактеризувати в даній статті.

Отже, рівень сучасних систем моделювання характеризується великим вибором базових концепцій формалізації та структуризації систем, що моделюються, розвиненим графічним інтерфейсом, зрозумілим та наочним анімаційним поданням розвитку процесів та отриманих результатів. Імітаційні системи на сучасному етапі мають засоби для доступу та передачі інформації з баз даних та доступ для процедурних мов, що дозволяє виконувати обчислення та робити прогнози з автоматизованою оптимізацією [2].

При обранні тієї чи іншої моделі зазвичай використовують метод аналогії, а визначення рівнів її точності та достовірності – це вже окрема проблема, яку треба вирішувати під час розроблення/обрання моделі. Помилки, припущенні при виборі імітаційної моделі, можуть зробити процес моделювання занадто довгим, занадто дорогим, незрозумілим або привести до отримання невірних результатів, що спричинить прийняття невірних управлінських рішень. Обрання моделі – базис, на якому ґрунтується вся подальша робота. В окремих випадках моделювання припиняють ще до того, як будуть отримані кінцеві результати. Причини криються або в необхідності економії

коштів або часу, або стає зрозумілим, що відбувається в системі вже в процесі моделювання, ще до моменту отримання кінцевих (прикінцевих) положень. Застосування імітаційної моделі попри все може не дати очікуваних результатів. А результати моделювання зазвичай не використовують в якості готових управлінських рішень. Вони є своєрідними підказками, несуть консультативний характер або визначають напрямки прийняття таких рішень.

Всі ці положення повною мірою поширюються на моделювання транспортних коридорів в системах VISSIM та VISUM. Таке моделювання не є панацеєю в розв'язанні транспортних проблем міст, воно може не дати очікуваних результатів, його деталізація може завести в глухий кут, його точність та достовірність – лише припущення, але застосовуючи ці програми в розумних межах, можна добитися неабияких позитивних результатів. І це доведено на практиці. Так, Департамент міської мобільності та вуличної інфраструктури Львівської міської ради спільно з відділом транспортного планування, моделювання та організації дорожнього руху ЛКП «Львівавтодор» закупили відповідне ліцензійне програмне забезпечення та використовують його для відслідковування ситуації на автошляхах міста та налаштування (програмування режиму роботи) світлофорів. Це перше. Друге – це, власне, транспортне моделювання. Обидві програми доповнюють одна одну. Кінцева мета їх застосування – запуск smart-коридорів пропуску транспорту. Харківська міська рада теж виступила замовником створення в своєму місті smart-коридорів пропуску транспорту. Інші українські міста поступово приєднуються до цієї ініціативи.

В чому полягає сенс smart-коридорів? При їх запуску отримуємо можливість скорочувати чи подовжувати світлофорні цикли. Це – більш гнучкий, ніж є зараз, процес керування міським дорожнім рухом. В залежності від характеру руху транспорту та пішоходів, програми видають приклади-сценарії регулювання рухом за допомогою «розумних» світлофорних об'єктів. На цьому етапі можна оцінювати їхню економічну та соціальну ефективність. Бо, як відомо, громадський транспорт, крім іншого, ще є й соціальним видом транспорту, отже соціальну складову відкидати не можна.

Економічний ефект досягається за рахунок:

- зменшення простоїв в пробках та заторах транспортних одиниць громадського транспорту;
- більш економічного використання електроенергії наземним міським електричним транспортом;
- дотримання розкладів руху тощо.

Ще є необчислювальні економічні ефекти, що досягаються від впровадження smart-коридорів. Наприклад, чітка робота громадського транспорту скорочує кількість запізнь на робочі місця працівників підприємств, допомагає зробити громадський транспорт по справжньому мультимодальним за рахунок узгодженості та чіткого дотримання графіків руху.

Але соціальний ефект від впровадження цих програм та розрахунків smart-коридорів в життєдіяльність міст є значно важливішим.

Успішне керування дорожнім рухом є прикладом інновацій в сфері перевезення пасажирів і цілком узгоджується зі світовими тенденціями розвитку громадського транспорту.

Здавалося б, «зелені хвилі» можна розрахувати для звичайних світлофорів. Але це будуть жорсткі хвилі, які не залежать від швидкості та насиченості (інтенсивності) руху транспорту. «Розумні» світлофори, роботу яких в непростих транспортних умовах українських міст, розраховували за допомогою згаданого програмного забезпечення, є більш гнучкими, в їхню роботу можна закласти більше параметрів та умов руху транспортних потоків за часом доби, днями тижня, навіть, порами року. Вони здатні швидко реагувати на зміни в дорожньому русі в режимі реального часу.

Ще одним важливим моментом, де можна використовувати програму макромодельовання VISUM, збір даних про інтенсивність потоків автомобілів на в'їздах в місто. Кожного ранку великий потік транспорту в'їжджає в міста, а увечері покидає їх. Вносячи дані по вхідних/вихідних інтенсивностях в макромодель можна будувати маршрути громадського транспорту по транспортній мережі міста в залежності від точок максимального тяжіння пасажиропотоку.

Інтенсивність транспорту в містах треба зменшувати: будувати великі автостоянки на в'їздах в міста, розвивати громадський транспорт з наданням йому пріоритету на автошляхах, розвивати засоби мікробільності (які вже визнані різновидом міського громадського електричного транспорту), пускати громадський транспорт по відокремленим лініям, змінювати підходи до формування маршрутної мережі громадського транспорту, що докладно проаналізовано в нашій попередній роботі [10].

Ми вважаємо, що всі інфраструктурні проекти мають бути спочатку промодельовані, і тільки потім втілені в життя міст.

Багатьох проблем з заторами можна було б уникнути, якщо б спочатку рух транспорту було промодельовано. Це стосується Києва, Харкова, Одеси, Львова, інших великих міст, будівництво яких (центрального району) здійснювалось в минулому та позаминулому століттях. Організацію руху можна було б зробити по-іншому, якщо б спочатку провели моделювання, а потім приймали остаточні рішення. Отже, транспортні потоки однієї вулиці значно впливають на транспортні потоки іншої, перехрестя не справляються з великою кількістю транспорту, в який би спосіб не налаштували світлофори. Затримки в дорожньому русі, зазвичай, з'являються у ранкові та вечірні години пік у робочі дні тижня, в міжпікові години проблеми з затримкою руху по автошляхах менш відчутні. Для

цього й використовують «розумні» світлофори, коригуючи потоки транспорту по автошляхах. Бо тільки вони можуть якщо не виправити, то хоча б послабити ситуації із затримками в русі. І якщо б в містах не робили моделювання, то було б значно гірше, ніж є на даний момент.

Висновки. На сучасному етапі розвитку міського господарства складні економічні системи міської інфраструктури вимушені працювати в умовах достатньо високої невизначеності, що суттєво ускладнює управління ними. В процесі прийняття управлінських рішень виникає проблема прогнозування поведінки системи та зовнішнього середовища. Результати прогнозів необхідно постійно корегувати по ходу розвитку подій, що дозволяє пристосовуватися до змін оточення та гнучко реагувати на негативні впливи.

Транспортні потоки міст зростають майже щоденно. Ними треба керувати. Єдине, на наш погляд, розумне рішення – створення в містах smart-коридорів пропуску транспорту, що дасть відчутний економічний та соціальний ефект, позбавить/зменшить затори на дорогах, позитивно вплине на міське повітря за рахунок зменшення викидів від працюючих двигунів внутрішнього згорання, зменшить кількість запізнь на робочі місця працівників підприємств за рахунок руху громадського та приватного транспорту без затримок, допоможе зробити громадський транспорт по справжньому мультимодальним за рахунок узгодженості та чіткого дотримання графіків руху та набуття пріоритету громадського транспорту при русі по автошляхах. Одночасно треба зменшувати потоки автотранспорту на в'їздах в міста, створюючи великі майданчики автопаркування та підводячи до них кінцеві зупинки маршрутів міського громадського транспорту.

Повоєнне відновлення та подальший розвиток транспортних систем українських міст повинно дотримуватись принципів, викладених вище.

Треба чекати на впровадження в Україні загальної інтелектуальної системи управління дорожнім рухом, яка дозволить розвантажити переповнені автошляхи, підвищить якість обслуговування пасажирів громадського транспорту, забезпечить надійність та безпеку вантажо- та пасажироперевезень, допоможе оптимізувати маршрути, підвищить якість планування та управління транспортним комплексом та транспортною інфраструктурою, спростить процес управління парком рухомого складу, знизить шкідливий вплив транспорту на міське довкілля.

Бібліографічний список:

1. Шамрін Р.В. Імітаційне моделювання економічних систем: програмні засоби та напрями їх вдосконалення. *Економіка і держава*. 2016. № 1. С. 35–39.
2. Власюк Ю.О. Особливості імітаційного моделювання економічних систем. *Збірник наукових праць Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2013. № 4(24). С. 33–35.
3. Жерновий Ю.В. Імітаційне моделювання систем масового обслуговування : практикум. Львів : видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. 208 с.
4. Палант О.Ю. Модель формування раціонального пасажиропотоку. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2015. № 1/5 (21). С. 30–34.
5. Палант О.Ю. Стратегія системної модернізації міського електричного транспорту. Харків : Золоті сторінки, 2016. 360 с.
6. Водовозов Є.Н. Застосування методу імітаційного моделювання для оцінки ефективності оптимізації маршрутів міського пасажирського транспорту. *Наука та інтелектуальний капітал у системі факторів трансформації економіки* : збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Київ, 17 серпня 2019 р.). Київ : ГО «Київський економічний науковий центр», 2019. С. 17–19.

7. Палант О.Ю., Водовозов Є.Н. Ймовірнісне моделювання щодо систем обслуговування групових заявок пасажиропотоку в громадському транспорті. *Вдосконалення економіки та фінансової системи: сучасний стан та перспективи* : міжнародна науково-практична конференція (м. Запоріжжя, 23 листопада 2019 р.). Запоріжжя, 2019. С. 125–127.
8. Raskin L., Sira O., Palant O., Vodovozov Ye. Development of a Model of the Service System of Batch Arrivals in the Passengers Flow of Public Transport. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. No 5/3 (101). P. 51–56.
9. Башинська І.О., Філіппов В.Ю. Розумна система міського пасажирського транспорту як складова Smart City : монографія. Харків : Видавництво «Діса плюс», 2018. 220 с.
10. Захаров Д.С. Корінна зміна підходів до формування маршрутної мережі міського громадського транспорту. *Наука і техніка сьогодні. Сер. Економіка*. 2023. Вип. 13(27). С. 290–300.

References:

1. Shamrin R. V. (2016) Imitatsiyne modelyuvannya ekonomichnykh system: prohramni zasoby ta napryamy yikh vdoskonalennya [Simulation modeling of economic systems: software tools and directions for their improvement]. *Economy and the state*, no. 1, pp. 35–39.
2. Vlasyuk Yu. O. (2013) Osoblyvosti imitatsiynoho modelyuvannya ekonomichnykh system [Features of simulation modeling of economic systems]. *Collection of scientific works of Tavriyya State Agro-Technological University*, no. 4(24), pp. 33–35.
3. Zhernovy Y. V. (2007) *Imitatsiyne modelyuvannya system masovoho obsluhovuvannya: praktykum* [Simulation modeling of mass service systems: workshop]. Lviv: Ivan Franko LNU Publishing Center. (in Ukrainian)
4. Palant O. Yu. (2015) Model' formuvannya ratsional'noho pasazhyropotoku [Model of formation of rational passenger flow]. *Tekhnolohichnyy audyt ta rezervy vyrobnytstva*, no. 1/5 (20), pp. 30–34.
5. Palant O. Yu. (2016) *Stratehiya systemnoi modernizatsiyi mis'koho elektrychnoho transportu* [Strategy of system modernization of urban electric transport]. Kharkiv: Golden Pages. (in Ukrainian)
6. Vodovozov Ye. N. (August 17, 2019) Zastosuvannya metodu imitatsiynoho modelyuvannya dlya otsinky efektyvnosti optymizatsiyi marshrutiv mis'koho pasazhyrs'koho transportu [Application of the simulation modeling method to evaluate the efficiency of optimization of urban passenger transport routes]. *Science and intellectual capital in the system of economic transformation factors: coll. the mother All-Ukrainian science and practice conference*. Kyiv: Kyiv Economic Research Center, pp. 17–19. (in Ukrainian)
7. Palant O. Yu. Vodovozov Ye. N. (November 23, 2019) Ymovirnisne modelyuvannya shchodo system obsluhovuvannya hrupovykh zayavok pasazhyropotoku v hromads'komu transporti [Probabilistic modeling of service systems for group applications of passenger traffic in public transport]. *Improvement of the economy and financial system: current state and prospects: international scientific and practical conference*. Zaporizhzhia. (in Ukrainian)
8. Raskin L., Sira O., Palant O., Vodovozov Ye. (2019) Development of a Model of the Service System of Batch Arrivals in the Passengers Flow of Public Transport. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, no. 5/3 (101), pp. 51–56.
9. Bashynska I. O., Filippov V. Yu. (2018) *Rozumna systema mis'koho pasazhyrs'koho transportu yak skladova Smart City* [Smart system of urban passenger transport as a component of Smart City]: monograph. Kharkiv: "Disa plus" publishing house, 220 p. (in Ukrainian)
10. Zakharov D. S. (2023) Korinna zmina pidkhodiv do formuvannya marshrutnoi merezhi mis'koho hromads'koho transportu [A fundamental change in approaches to the formation of the urban public transport route network]. *Science and technology today. Ser. Economy*, vol. 13(27), pp. 290–300.

Стаття надійшла до редакції 27.12.2023