

**Рисцов Ігор Костянтинович**

*кандидат фізико-математичних наук, доцент,  
доцент кафедри математичного моделювання економічних систем  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

**Рысцов Игорь Константинович**

*кандидат физико-математических наук, доцент,  
доцент кафедры математического моделирования экономических систем  
Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

**Rystsov Ihor**

*Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor of the Department of  
Mathematical Modeling of Economic Systems  
National Technical University of Ukraine  
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»*

**Каплун Олексій Олегович**

*магістрант факультету менеджменту та маркетингу  
Національного технічного університету України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

**Каплун Алексей Олегович**

*магистрант факультета менеджмента и маркетинга  
Национального технического университета Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

**Kaplun Oleksii**

*Master of the Faculty of Management and Marketing of the  
National Technical University of Ukraine  
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»*

**ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВАРТОСТІ ЕКОЛОГІЧНОГО  
ЗБИТКУ ПАСАЖИРСЬКОГО АВТОТРАНСПОРТУ З УРАХУВАННЯМ ЯКОСТІ  
ОБСЛУГОВУВАННЯ**

**ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОИМОСТИ  
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА ПАССАЖИРСКОГО АВТОТРАНСПОРТА  
С УЧЕТОМ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ**

**ECONOMIC MODELING OF ENVIRONMENTAL DAMAGE VALUE  
PASSENGER VEHICLES WITH REGARD TO QUALITY SERVICE**

**Анотація.** У статті проаналізовані виявлені актуальні проблеми функціонування міського пасажирського автотранспорту. Досліджено задачі щодо побудови моделі функціонування маршруту автомобільного пасажирського транспорту з урахуванням негативного впливу на навколишнє середовище та якості обслуговування пасажирів.

**Ключові слова:** екологічний збиток, імітаційне моделювання, інтервал очікування, пасажиропотік, якість обслуговування.

**Аннотация.** В статье проанализированы выявленные актуальные проблемы функционирования городского пассажирского автотранспорта. Исследована задачи по построению модели функционирования маршрута автомобильного

пассажи́рского транспорта с учетом негативного воздействия на окружающую среду и качества обслуживания пассажиров.

**Ключевые слова:** экологический ущерб, имитационное моделирование, интервал ожидания, пассажиропоток, качество обслуживания.

**Summary.** The article analyzes the revealed actual problems of functioning of city passenger vehicles. The task of constructing the model of operation of the route passenger car transport with the consideration of the negative impact on the environment and the quality of passenger service is investigated.

**Key words:** ecological damage, simulation modeling, waiting interval, passenger traffic, quality of service.

**Постановка проблеми.** На сучасному етапі розвитку міського пасажирського транспорту одним з найважливіших завдань є створення системи міського пасажирського транспорту, орієнтованої на задоволення інтересів суспільства в якісному обслуговуванні. Пріоритетним напрямом є зменшення екологічного збитку та забезпечення якісного обслуговування користувачів транспорту на маршруті, використовуючи певні параметри якості перевезення пасажирів. Відсутність необхідного рівня системності та динамічності при веденні діяльності у сфері перевезень пасажирів дає підстави стверджувати про необхідність розробки відповідних теоретичних, методичних і організаційних положень. Одним з чинників забезпечення врегульованого функціонування пасажирських маршрутів у місті є проведення відповідного моделювання для знаходження і визначення кращих варіантів здійснення перевезень на маршруті та прогнозування екологічного збитку на основі реальних викидів шкідливих речовин у атмосферу, тим самим мінімізуючи цей збиток, що дасть змогу зробити пасажирські перевезення найбільш комфортними з точки зору пасажирів-користувачів та забезпечити врегулювання здійснення перевезень підприємцем-перевізником.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Через те, що пасажирський транспорт відіграє важливу роль в життєзабезпеченні суспільства, Беленький М. Н., Громова О. М., Яновський П. О., визначають поняття «пасажирські перевезення» як механізм задоволення потреб населення у перевезенні [1]. Також варто звернути увагу на дослідження Кочурою С. Н. та Попченко В. И. пасажиропотоків для побудови адекватних математичних моделей, які будуть враховувати різні критерії якості обслуговування [2]. А. В. Кулешова, В. А. Широченко розглядали застосування моделювання для оцінки можливостей з точки зору ефективності та рентабельності перевезення пасажирів Вони вважають, що при дослідженні пасажиропотоків основними параметрами (факторами), що безпосередньо впливає на їх зміну є: 1. година доби; 2. день тижня; 3. місяць сезону року [3]. Сочнев А. Н. досліджував моделювання руху маршрутних автобусів та зазначав, що розвиток транспортної інфраструктури міста повинно виконуватися на основі всебічного дослідження схеми пасажиропотоків [4]. В. О. Іванов наголошує, що саме

тому комплексне розв'язання проблем з організації міського транспорту можливе лише при застосуванні засобів імітаційного моделювання дорожнього руху і впровадженні комплексу математичних моделей, які орієнтовані на вирішення конкретних задач прогнозування і управління функціонування транспорту [5]. Славич В. П. вважав, що з метою забезпечення завдань розвитку і функціонування міського пасажирського транспорту та транспортних послуг треба, щоб діяльність автотранспортних підприємств постійно підлягала регулюванню, контролю та оптимізації [6]. Д. С. Печенежський та В. М. Томашевський запропонували концепцію створення імітаційного проекту для управління рухом автотранспортних засобів для організації керування потоком автомобілів, відтворювання особливих ситуацій, створення [7]. С. В. Ковбасенко, В. В. Симоненко, С. Ю. Гутаревич досліджували зміну паливно-економічних, екологічних та енергетичних показників автобуса з дизелем, в порівнянні з традиційним нафтовим паливом [8]. Піцик М. Г. вважав, що однією із важливих задач є відбір рухомого складу, який би відповідав технічним, технологічним і концепції комплексного енерго- і ресурсозбереження [9].

Таким чином, недостатньо дослідженими і розробленими в цьому напрямку є побудова моделей функціонування транспортних засобів з урахуванням вимог встановленої наповнюваності, інтервалу очікування пасажирів на зупиночних пунктах, постановка задач врегулювання здійснення перевезень з урахуванням збереження довкілля шляхом зменшення екологічного збитку.

**Формування цілей статті.** Метою дослідження є розробка й удосконалення теоретичних, науково-методичних підходів і практичних рекомендацій щодо моделювання діяльності маршруту пасажирського автомобільного транспорту задля забезпечення раціонального використання транспортних одиниць підприємства, встановлення і нормування здійснення перевезень, використовуючи критерій екологічності, за яким обраховується екологічний збиток та критерій комфортності пасажирського маршруту.

Відповідно до поставленої мети сформульовано такі завдання:

- удосконалити науково-методичні засади в процесах функціонування пасажирського автомобільного транспорту у місті;

- обґрунтувати імітаційне моделювання маршруту автомобільного пасажирського транспорту і виявити кращі варіанти функціонування транспорту;
- сформувати комплекс організаційних заходів щодо мінімізації рівня екологічного збитку і впливу на навколишнє середовище і виявити екологічну шкоду на обраному транспорті в результаті моделювання;
- розробити практичні рекомендації щодо удосконалення функціонування маршруту транспорту з урахуванням обраних критеріїв і екологічного чинника.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Розглядається підприємство, яке функціонує у великому місті, займається автобусними пасажирськими перевезеннями. Має у своєму розпорядженні певний маршрут, який обслуговує самостійно, тобто конкуренція відсутня. Проблема полягає в тому, що рух за маршрутом здійснюється переповненим рухомим складом і з великим інтервалом руху, що призводить до значного часу очікування пасажирів на зупинках. Неврегульований шкідливий екологічний вплив від використання автобусів на маршруті. Постає питання щоб спланувати розклад маршруту, враховуючи організаційне врегулювання здійснення перевезень. Параметри комфортності мають максимально враховувати побажання більшості пасажирів маршруту автобусу та відповідати деяким нормам перевезення пасажирів у місті.

Це такі параметри: час очікування транспорту на зупинці (інтервал руху має враховувати пасажиропотік та день тижня (вихідні, свята, будні)), завантаженість автобусу, урахування інтересів людей з інвалідністю. Параметри екологічності — це грошова оцінка шкідливого впливу на довкілля від здійснення перевезень. Кожний автобус, який ми розглядаємо, має певні реальні викиди палива на ту кількість кілометрів, яку він проїжджає. Звідси розраховуємо викиди шкідливих речовин у атмосферу і збиток у грошовому еквіваленті, який вони спричинили навколишньому середовищу. Цей економічний збиток враховується у ціні проїзду, яку встановлює державна влада, враховуючи собівартість перевезень. Варто обрати той тип автобусу, який максимально задовольняє ці параметри і таким чином врегулюють пасажирські перевезення автотранспортом. Розглядається деякий період, в якому вираховується кількість автобусів на кожен день за годинами доби для здійснення перевезень, які будуть відповідати умовам комфортності і умові мінімальної грошової оцінки екологічних втрат.

Якість обслуговування, виражається у середньому часі очікування на зупинці  $x_1$ , максимальною наповненістю салону пасажирського транспортного засобу  $x_2$ . В якості параметрів екологічності візьмемо загальні витрати палива  $c_1$  (у літрах на 100 км), вартість шкідливих речовин  $c_{i2}$  (у євро), що викидаються у атмосферу на конкретну кількість палива,

яка визначається згідно Директиви 2009/33/ЄС Європейського парламенту (табл. 1) (згідно директиви — на тону палива) [10].

Таблиця 1

**Вартість викидів шкідливих речовин у євро згідно Директиви 2009/33/ЄС**

CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	NMHC	тверді частинки
0,03–0,04 EUR/кг	0,0044 EUR/г	0,001 EUR/г	0,087 EUR/г

На підставі даного аналізу можемо в подальшому моделювати оптимальні маршрути пасажирського транспорту, де  $i$  — вид шкідливої речовини, що викидається в атмосферу.

Середній час чекання на зупинці має бути  $t_1 \leq x_1 \leq t_2$  хвилин у будні дні в часи пік і  $t_3 \leq x_1 \leq t_4$  у будні дні не в часи пік і у вихідні та святкові дні. Максимальна наповненість салону пасажирського транспортного засобу  $x_2 \leq b$ , де  $b$  — це відсоток наповненості салону автобусу.

Таким чином ми оптимізуємо пасажирські перевезення на маршруті і таким чином врегулюємо комфортність пасажирів.

$Z$  — економічний збиток від спаленого палива (1) обчислюється так:

$$Z(t) = \frac{c_1(t) * \sum_{i=1}^n c_{i2}}{1000}, \quad (1)$$

де  $c_1$  — загальні витрати палива (у літрах на 100 км);  $c_{i2}$  вартість шкідливих речовин (у євро), що викидаються у атмосферу на конкретну кількість палива, яка визначається згідно Директиви 2009/33/ЄС Європейського парламенту (згідно директиви - на тону палива).

Таким чином визначаємо економічний збиток екології в залежності від спожитого палива.

Маємо наступний алгоритм розв'язку задачі імітаційного моделювання руху автобусу за кільцевим маршрутом в одному напрямку:

1. Існує  $N$  зупинок. А отже виходячи з того, що в нас маршрут кільцевий, то  $N$  перегонів зі своїми значеннями довжин перегонів.

2. На кожен зупинку приходить випадкова кількість пасажирів з певним інтервалом часу (пасажир приходять на свої зупинки випадковим чином, очікують автобус і в разі його приходу намагаються сісти в нього. Це вдається, якщо є порожні місця (місткість автобуса обмежена)).

3. Задається ймовірності виходу пасажирів з автобусу на кожній зупинці, після того як він прибуває (при русі автобуса на кожен зупинку випадкове число пасажирів вирішує вийти з автобуса, звільняючи тим самим місця для нових пасажирів).

4. Моделюється вихід на рейс і функціонування автобусів на маршруті (час перебування на зупинці

і курсування маршрутом, процеси посадки і висадки пасажирів враховуються. Процес описується в основному часом затримок на відповідні операції і подіями, що відбуваються).

5. Результати проміжного моделювання враховуємо для забезпечення обмежень (інтервал руху і наповненість автобусу) і додаються або вилучаються автобуси з маршруту з відповідною пасажиромісткістю.

6. Визначається необхідну кількість автобусів і рейсів на кожен годину роботи маршруту, в залежності від часу дня (час пік чи ні) та самого дня (вихідний чи робочий).

7. Після цього вираховується кількість кілометрів, які проїхали автобуси і відповідно моделі автобусу та кількість спаленого палива.

8. Згідно нормативів Директиви 2009/33/ЄС Європейського парламенту визначаємо оцінку сумарної вартості шкідливих викидів та підсумовуємо який екологічний збиток у вартісному вигляді було нанесено.

9. Далі визначаються ті моделі автобусів у відповідну годину роботи маршруту, які спалили менше палива та принесли менший екологічний збиток з поміж інших і задовольнили якість обслуговування. Ці моделі транспортних засобів обираються в якості можливих варіантів для функціонування на маршруті.

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.** Була сформована модель функціонування маршруту автомобільного пасажирського транспорту, з урахуванням

вимог і параметрів. Спочатку моделюється рух автобусів різних типів (розрізняються за місткістю) за маршрутом з урахуванням параметрів комфортності у різні дні тижня і години доби, потім — на основі отриманих даних про кількість спаленого палива обраховується екологічний збиток у грошовому еквіваленті. Таким чином обирається той варіант автобусу та кількість рейсів на маршруті, який задовольняє всім початковим умовам. Показники, якими підприємство може керувати: тип автобусів, їх кількість на маршруті, інтервали руху.

Для ефективного планування транспортних систем використовується зазвичай імітаційне моделювання, яке стає актуальним у зв'язку із збільшенням кількості транспортних засобів, експлуатація яких супроводжується значними фінансовими затратами і забрудненням довкілля. Рекомендовано використання транспортних засобів таким чином, щоб опрацювати існуючий пасажиропотік, на основі встановлення певного рівня якості обслуговування, зменшення вихлопів шкідливих речовин, мінімізації економічної оцінки екологічного збитку від функціонування транспортних засобів.

Для застосування даної моделі в реальному житті необхідно додаткові напрацювання, оскільки є багато факторів, що впливають на поведінку досліджуваного об'єкта, і які в моделі не враховуються. Велика кількість даних, які також можуть впливати на адекватність моделі, не має обрахованого кількісного визначення, тому побудована модель також повинна включати певні експертні оцінки і висновки, щодо функціонування моделі.

### Література

1. Беленький М. Н. Экономика пассажирских перевозок / М. Н. Беленький. — М.: Транспорт, 1974. — 272 с.
2. Кочура С. Н. Динамика рационального развития и распределения по маршрутам автобусного подвижного состава городов / С. Н. Кочура // Управляющие системы и машины. — 1974. — № 3. — С. 100–105.
3. Кулешова А. В. Имитационное моделирование городской транспортной системы с учетом изменения пассажиропотока / А. В. Кулешова, В. А. Широченко // Студенческий вестник. Электронный научно-технический журнал. — 2013. — № 7. — С. 15–19.
4. Сочнев А. Н. Имитационное моделирование движения маршрутных автобусов [Электронный ресурс] / А. Н. Сочнев // Современные научные исследования и инновации. — 2012. — № 5. — Режим доступа: <http://web.snauka.ru/issues/2012/05/12603>
5. Иванов В. О. Розподілена система імітаційного моделювання дорожнього руху / В. О. Иванов. // Вісник НТУУ «КПІ» Інформатика управління та обчислювальна техніка. — 2008. — № 48. — С. 41–45.
6. Модель автоматизованої системи управління потоками транспортних засобів [Електронний ресурс] / В. П. Славич // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи. — 2008. — № 1. — С. 20–23. — Режим доступа: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/aaeks\\_2008\\_1\\_5](http://nbuv.gov.ua/UJRN/aaeks_2008_1_5)
7. Печенежський Д. С. Керування автомобільним транспортним рухом з використанням транспортної моделі [Електронний ресурс] / Д. С. Печенежський, В. М. Томашевський. — Режим доступа: <http://www.simulation.org.ua/show.php?mode=prj&file=proj001.html&id=1>
8. Легенький Г. М. Основні напрямки розвитку екологічно-прийнятної транспортної системи в Україні та шляхи їх реалізації / Г. М. Легенький, и др. // Автошляховик України: окремих вип. — 2000. — № 3. — С. 24–26.
9. Піцик М. Г. Вдосконалення конкурентної методики оцінки перевізників при виборі автобусів на маршрут [Електронний ресурс] / М. Г. Піцик. // Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія. — 2012. — № 9. — С. 155–157. — Режим доступа: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Upsal\\_2012\\_9\\_36](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Upsal_2012_9_36)

10. Директива 2009/33 / ЄС Європейського Парламенту і Ради від 23 квітня 2009 про просування екологічно чистих і енергоефективних автотранспортних засобів.

#### References

1. Belenkyj M. N. *Экономика passazhyrskyykh perezovozok* / M. N. Belenkyj. — М.: Transport, 1974. — 272 с.
2. Kochura S. N. *Динамика racyonal'nogho razvytyja y raspredelenija po marshrutam avtobusnogho podvyzhnogho sostava ghorodov* / S. N. Kochura. // *Upravljajushhye systemy y mashyny*. — 1974. — #3. — S. 100–105.
3. Kuleshova A. V. *Умытационное modelyrovanye ghorodskoj transportnoj systemy s uchetom yzmenenija passazhyropotoka* / A. V. Kuleshova, V. A. Shyrochenko. // *Studencheskyj vestnyk. Электронный nauchno-tekhnicheskyy zhurnal*. — 2013. — #7. — S. 15–19.
4. Sochnev A. N. *Умытационное modelyrovanye dvyzhenija marshrutnykh avtobusov* [Электронный resurs] / A. N. Sochnev. // *Sovremennyye nauchnyye yssledovaniya y ynnovacyu*. — 2012. — #5. — Rezhym dostupu: <http://web.snauka.ru/issues/2012/05/12603>
5. Ivanov V. O. *Rozpodilena systema imitacijnogho modeljuvannja dorozhnjogho rukhu* / V. O. Ivanov. // *Visnyk NTUU «KPI» Informatyka upravlinnja ta obchysljuvaljna tekhnika*. — 2008. — #48. — S. 41–45.
6. *Modelj avtomatyzovanoji systemy upravlinnja potokamy transportnykh zasobiv* [Elektronnyj resurs] / V. P. Slavych // *Avtomatyka. Avtomatyzacija. Elektrotekhnichni komplekxy ta systemy*. — 2008. — # 1. — S. 20–23. — Rezhym dostupu: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/aaeks\\_2008\\_1\\_5](http://nbuv.gov.ua/UJRN/aaeks_2008_1_5)
7. Pechenezhsjkyj D. S. *Keruvannja avtomobilnym transportnym rukhom z vykorystannjam transportnoji modeli* [Elektronnyj resurs] / D. S. Pechenezhsjkyj, V. M. Tomashevsjkyj. — Rezhym dostupu: <http://www.simulation.org.ua/show.php?mode=prj&file=proj001.html&id=1>
8. Leghenjkyj Gh. M. *Osnovni naprjamky rozvytku ekologhichno-pryjnatnoji transportnoji systemy v Ukraini ta shljakhy jikh realizaciji* / Gh. M. Leghenjkyj. y dr. // *Avtoshljakhovyk Ukrainy: okremyj vyp.* — 2000. — #3. — S. 24–26.
9. Picyk M. Gh. *Vdoskonalennja konkursnoji metodyky ocinky perezivnykiv pry vybori avtobusiv na marshrut* [Elektronnyj resurs] / M. Gh. Picyk. // *Upravlinnja proektamy, systemnyj analiz i loghistyka. Tekhnichna serija*. — 2012. — #9. — S. 155–157. — Rezhym dostupu: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Upsal\\_2012\\_9\\_36](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Upsal_2012_9_36).
10. *Dyrektyva 2009/33 / JeS Jevropejskogho Parlamentu i Rady vid 23 kvitnja 2009 pro prosuvannja ekologhichno chystykh i energhoefektyvnykh avtotransportnykh zasobiv*.