

УДК 338.47:656(1-21):711.7

Г. Я. Мозолеви́ч, к.т.н.

(доцент кафедри «Станції та вузли» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)

А. В. Шопот,

(магістрант кафедри «Станції та вузли» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)

РОЗРОБКА МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ МІСТА

В роботі запропоновано використання вимірника сталого розвитку ТСГ. Практичне значення полягає у можливості використання цього показника при розробці стратегії розвитку ТСГ, оцінці поточного її стану.

ТСГ - це складна, динамічна, стохастична система. Її цілями є забезпечення потреб у перевезеннях вантажо- та пасажиропотоків із максимально можливою швидкістю при безумовному дотриманні безпеки руху з мінімізацією експлуатаційних витрат і впливу на навколишнє середовище.

Для вирішення поставленої мети було виконано декомпозицію ТСГ. На мікрорівні побудовано імітаційну модель роботи автомобільного перехрестя, яка дозволяє моделювати рух транспортних потоків по напрямках. Розроблені алгоритми оцінки статистичних показників простою транспортних засобів на перехрестях. На макрорівні – запропоновано методiku оцінки впливу транспорту на сталий розвиток міст. Розроблений метод дозволяє дати кількісну оцінку витрат учасників транспортного процесу та виділити найбільш проблемні його складові.

Загальні витрати, які були одержані при обчисленні запропонованого вимірника, склали приблизно 20 – 25% ВВП міста.

Ключові слова: транспортна система міста, імітаційна модель, сталий розвиток міст, автомобільне перехрестя, урбанізація.

В работе предложено использование измерителя устойчивого развития ТСГ. Практическое значение состоит в возможности использования этого показателя при разработке стратегии развития ТСГ, оценке ее текущего состояния.

ТСГ представляет собой сложную, динамическую, стохастическую систему. Ее целями является обеспечение потребностей в перевозках грузо- и пассажиропотоков с максимально возможной скоростью при безусловном соблюдении безопасности движения с минимизацией эксплуатационных затрат и воздействия на окружающую среду.

Для решения поставленной цели было выполнено декомпозицию ТСГ. На микроуровне построена имитационная модель работы автомобильного перекрестка, которая позволяет моделировать движение транспортных потоков по направлениям. Разработаны алгоритмы оценки статистических показателей простою транспортных средств на перекрестках. На макроуровне – предложена методика оценки влияния транспорта на устойчивое развитие городов.

© Мозолеви́ч Г. Я., Шопот А. В., 2017

Ключевые слова: транспортная система города, имитационная модель, устойчивое развитие городов, автомобильное перекресток, урбанизация.

Постановка проблеми. В теперішній час автомобільний транспорт є невід’ємною частиною життя суспільства. За останніми даними в Україні у 2016 р. кількість транспортних засобів перетнула позначку 9,2 млн од., з яких 6,9 млн легкові автомобілі [1]. Через це у містах з великим населенням усе частіше можна зіткнутися з проблемою виникнення заторів. Причиною цього є недосконала система управління дорожнім рухом (УДР) та надмірна завантаженість транспортних вузлів і розв’язок.

Методами вирішення цих проблем є реконструктивні та організаційні заходи. Якщо перші тягнуть за собою значні капіталовкладення, то за допомогою других можна досягнути результатів із значно меншими витратами. Найбільш проблемними, так званими «вузькими» місцями, можна назвати автомобільні перехрестя, через те що саме на них відбувається накопичення транспортних засобів та створення черг. Основним способом вирішення проблеми оптимального перетину автомобілями перехресть є автоматизація світлофорного регулювання рухом. Управління параметрами роботи світлофорів на перехрестях є складною оптимізаційною задачею, яка набуває все більшої актуальності в умовах постійної урбанізації та збільшення кількості транспортних засобів.

В дослідженні автори поставили перед собою два рівні задач:

- 1) На макрорівні – оцінка впливу автотранспорту на сталий розвиток міст;
- 2) На мікрорівні – дослідження впливу системи управління автомобільними перехрестями на загальний простій транспортних засобів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання імітаційного моделювання роботи транспортних потоків завжди було досить складним. Насамперед, це пов’язане з великою кількістю факторів, що необхідно враховувати при побудові моделей. Одна з складних задач, яка стоїть перед дослідником, – це задача відбору обмеженого переліку параметрів моделі. Якщо кількість факторів буде значною, то при дослідженні буде важко встановити зв’язок між ними і це ускладнить процес побудови моделі. Якщо ж брати до уваги невелику їхню кількість, то існує велика вірогідність того, що отримана модель не буде відповідати реальності.

Перша спроба моделювання автомобільних потоків, в якій рух транспорту розглядався з позицій механіки суцільного середовища, була запропонована в 1955 році Lighthill M.J та Whitham F.R.S [2]. Також необхідно відмітити роботи Ф. Хейта [3], який вперше виділив математичне дослідження транспортних потоків у самостійний розділ прикладної математики.

На даний час розроблена значна кількість спеціалізованого програмного забезпечення для моделювання транспортних потоків серед яких: PTV Vision [4], НВП «Система Сервіс» [5], «Дорожній менеджер» [6].

По даній тематиці вченими були запропоновані різноманітні методи моделювання. Так, наприклад, у [7] було запропоновано впровадження геоінформаційних систем і методів редукції графів для підвищення ефективності отриманих даних і прийняття рішень. Також одним з популярних методів є представлення транспортних потоків у вигляді орієнтованого графа [8-12].

У роботі [13] запропоновано використання математичних методів розподілу для розробки моделі дискретних транспортних потоків, в роботах [14-15] використовуються поняття кліткових автоматів, механіки суцільного середовища. Моделювання з використанням Марковських ланцюгів були представлені у [16].

Всі перелічені підходи для моделювання потоків транспортних засобів мають свої переваги та недоліки. І для кожної конкретної задачі досліднику слід уважно підходити до питання вибору методу моделювання.

Метою дослідження є розробка методу оцінювання сталого розвитку транспортної системи міста на основі дослідження процесу переміщення транспортних потоків на перехрестях.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для вирішення задачі мікрорівня було досліджено роботу автомобільного перехрестя в м. Дніпро на пересіченні вулиці Лазаряна та проспекту Гагаріна, схема якого наведена на рис 1.

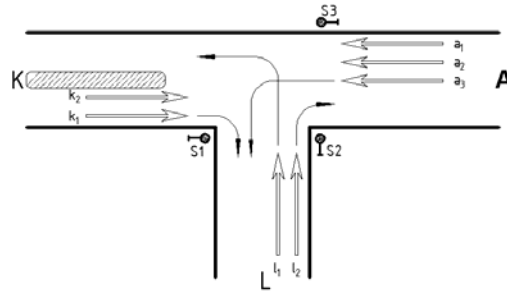


Рис. 1. Схема автомобільного перехрестя на перетині вулиці Лазаряна та проспекту Гагаріна

Транспортні потоки були поділені за напрямками руху K, A, L та окремо за смугами k_1, k_2, l_1, l_2 та a_1, a_2, a_3 .

Було виконано візуальне спостереження за рухом автомобілів по перехрестю, під час якого фіксувались моменти проходження транспортних засобів через точки спостереження. На основі отриманих моментів перетину контрольних точок перехрестя було побудовано статистичні ряди та гістограми розподілу випадкової величини інтервалів між транспортними засобами – рис. 2.

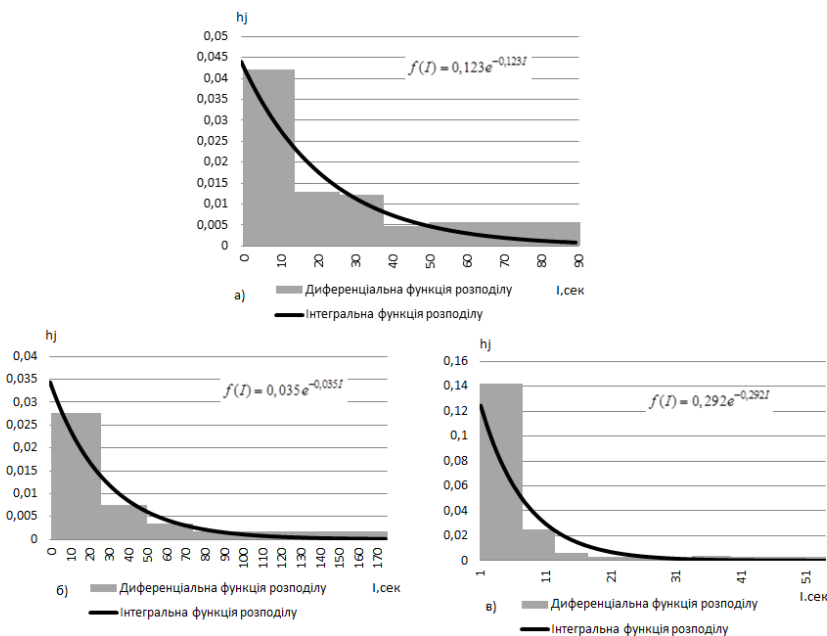


Рис. 2. Гістограма та інтегральна функція розподілу випадкової величини інтервалів між автомобілями: а) на смугі k_1 ; б) на смугі a_1 ; в) на смугі k_2 .

Після виконання статистичної обробки було висунуто гіпотезу про розподіл інтервалів між автомобілями за законом Ерланга з параметром $K=1$ [17]. Перевірка гіпотези виконана за допомогою критеріїв згоди Пірсона [17]. Виконані розрахунки підтвердили висунуту гіпотезу.

Черговість пересічення автомобілями перехрестя регулюється світлофорами, які працюють у циклічному режимі, і залежно від їх показань транспортним потокам дозволяється або забороняється рух (табл. 1).

Моделювання руху транспортних засобів виконувалось за Законом Ерланга для неперервних випадкових величин [14]:

$$I_i = -\frac{M[I]}{k} \prod_{j=1}^k \ln(r_j), c \quad (1)$$

де $M[I]$ – математичне очікування випадкової величини інтервалів між транспортними засобами;

k – параметр Ерланга;

r_j – випадкове число, що рівномірно розподілене в інтервалі $[0,1]$.

Таблиця 1. Формалізація процесу руху транспортних засобів на перехресті*

Потік \ Світлофор	S _{1зел}	S _{1черв}	S _{2зел}	S _{2черв}	S _{3зел}	S _{3черв}
k ₁	+	-	-	+	+	-
k ₂	+	-	-	+	+	-
a ₁	+	-	-	+	+	-
a ₂	+	-	-	+	+	-
a ₃	+	-	-	+	+	-
l ₁	-	+	+	-	-	+
l ₂	-	+	+	-	-	+

* Примітка: «+» – дозволяється рух транспортних засобів;

– – – – «-» – забороняється рух транспортних засобів.

Моделювання потоків виконувалось окремо для кожної смуги. Для розрахунку простоїв транспортних засобів період моделювання було поділено на цикли, величина яких складала:

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{ч}} + t_{\text{з}}, c \quad (2)$$

де $t_{\text{ч}}$ – період горіння червоного світлофора, с;

$t_{\text{з}}$ – період горіння зеленого світлофора, с.

Для обробки моментів підходу транспортних засобів до перехрестя та введення їх в цикл використовувалась така формула:

$$M_{\text{ц}} = M - T_{\text{ц}} \left\lfloor \frac{M}{T_{\text{ц}}} \right\rfloor, c \quad (3)$$

де M – момент проходження транспортного засобу через перехрестя.

Розрахунок простою транспортних засобів виконувався за алгоритмом, схема якого наведена на рис. 3.

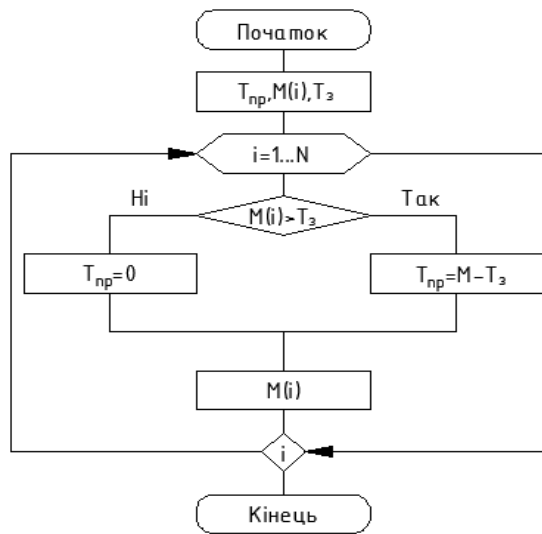


Рис. 3. Алгоритм розрахунку простою окремого потоку транспортних засобів на перехресті

Імітацію роботи автомобільного перехрестя виконано в різних режимах роботи світлофорів. В кожному з них змінювалось відношення часу горіння червоного сигналу до зеленого. Загальний простій транспортних засобів у різних режимах роботи світлофорів представлений на рис. 4.

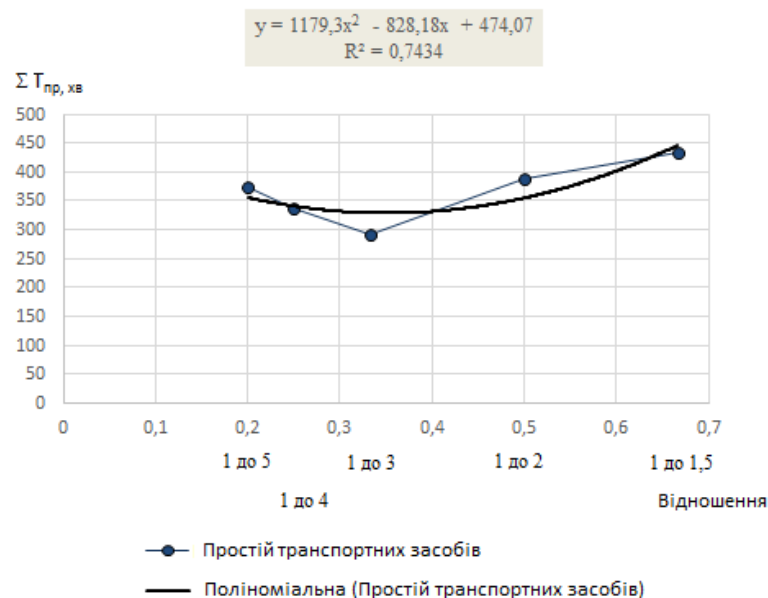


Рис. 4. Графік зміни загального простою транспортних засобів залежно від циклів роботи світлофорів

Виконане моделювання показало, що мінімальний простій транспортних засобів досягається при співвідношенні сигналів світлофорів 1 до 3.

Для виконання поставленої задачі на макрорівні необхідно виконати перехід від мікромоделі перехрестя до потокової моделі їх сукупностей. Якщо по роботі окремих перехресть в м. Дніпро результати розрахунків збігаються із реальною роботою світлофорів, то до роботи всієї системи у водіїв автотransпортних засобів виникають питання. Причиною цього є відсутність зв'язків між циклами роботи світлофорів окремих перехресть.

Вирішення задачі на макрорівні. Термін «сталий розвиток» в даний час визначається як модель розвитку економіки і суспільства, при якій досягається задоволення життєвих потреб нинішнього покоління людей без позбавлення такої можливості майбутніх поколінь [18]. Якісну оцінку роботи транспортних систем міста яка включає в себе соціальну економічну і екологічну складову можна виконати з використанням вимірника сталого розвитку транспортної системи міста:

$$C_m = E_{\text{соц.}} + E_{\text{економ.}} + E_{\text{еколог.}}, \text{ грн/рік} \quad (4)$$

де $E_{\text{соц.}}$ – оцінка соціальних інтересів учасників транспортного процесу, грн/рік;

$E_{\text{економ.}}$ – економічні витрати, пов'язані із простоєм транспортних засобів та експлуатацією засобів управління, грн/рік;

$E_{\text{еколог.}}$ – витрати викликані забрудненням навколишнього середовища транспортними засобами, грн/рік.

Для оцінки значення цього вимірника було проведено статистичний аналіз кількості транспортних засобів та їх технічні характеристики рис. 4–5.

Для оцінки соціальної складової необхідно врахувати збитки людей, що виникають через додатковий простій під час переміщень містом:

$$E_{\text{соц.}} = \alpha_p P_{\text{л}} G_{\text{нас.}} \Delta T_{\text{пр}}, \text{ грн/рік} \quad (5)$$

де α_p – продуктивна частина населення, %;

$P_{\text{л}}$ – середній дохід населення міста, грн/рік;

$G_{\text{нас.}}$ – середня населеність транспортного засобу, чол/тр.зас.;

$\Delta T_{\text{пр}}$ – додатковий простій транспортних засобів.

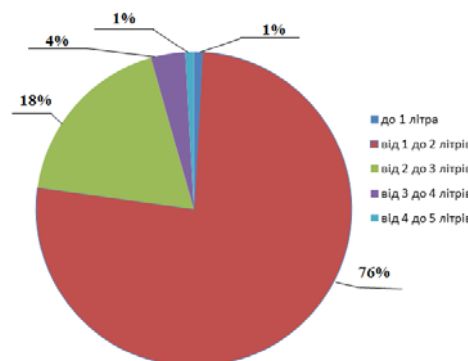


Рис. 4. Статистичні дані об'єму двигунів транспортних засобів

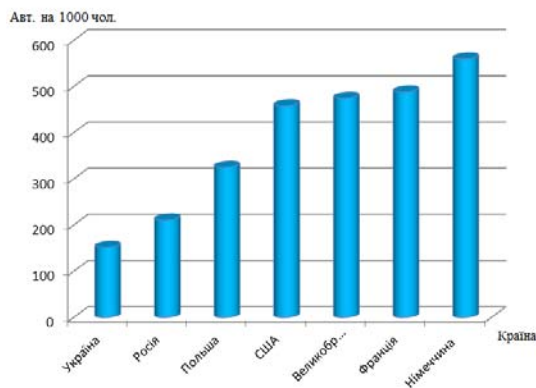


Рис. 5. Кількість транспортних засобів на душу населення в різних країнах світу

Під час розрахунку економічної складової необхідно врахувати витрати палива на розгін та уповільнення транспортних засобів і роботу двигуна у холостому режимі, а також витрати, пов'язані з необхідністю підвищення кількості маршрутних транспортних засобів через збільшення тривалості їх обертів:

$$E_{\text{економ.}} = C_{\text{xx}} + C_{\text{м.т.з.}}, \text{ грн/рік} \quad (6)$$

де C_{xx} – витрати палива на роботу двигуна у холостому режимі та на розгін і уповільнення, *грн/рік* [19];

$C_{\text{м.т.з.}}$ – витрати, пов'язані зі збільшенням обертів маршрутних транспортних засобів, *грн/рік*.

Останнім та значно шкідливим для людини є екологічний показник. У контексті сталого розвитку міст він визначається забрудненням атмосфери навколишнього середовища шкідливими викидами автомобілів.

На основі побудованої математичної моделі було розраховано концентрацію шкідливих викидів автомобілів за формулою [20]:

$$C_{\text{co}} = 1,53 N^{0,368}, \text{ млн}^{-1} \quad (7)$$

Отримані розрахунки показали, що концентрація шкідливих викидів значно перевищує допустимі норми.

Найбільш небезпечними газами, які виділяються транспортними засобами під час роботи, є: окис вуглецю (CO) та оксид азоту (NO) [20]. Перевищення їх концентрації в повітрі призводить до захворювання людей низкою складних недуг, а саме: алергічний риніт, серцево-судинні захворювання, бронхіальна астма, загальні порушення зору, захворювання центральної нервової системи [21]. Цей показник можна оцінити за допомогою виразу:

$$E_{\text{еколог.}} = N_{\text{нас.}} \beta_{\text{зах.}} S_{\text{річ.}}, \text{ грн/рік} \quad (8)$$

де $N_{\text{нас.}}$ – населення міста, *чол.*;

$\beta_{\text{зах.}}$ – частка людей, які страждають від захворювань, *чол.*;

$S_{\text{річ.}}$ – витрати однієї людини на лікування хвороби, *грн/рік*.

Проведені розрахунки дозволили визначити співвідношення складових вимірника сталого розвитку транспортної системи міста – рис. 6.

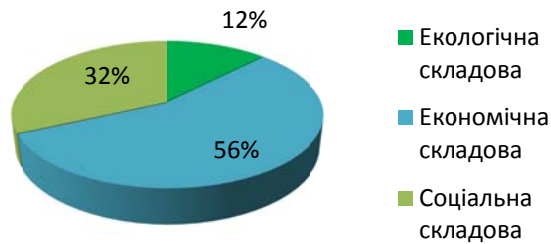


Рис. 6. Співвідношення складових вимірника сталого розвитку міста

Висновки та пропозиції. У статті розглянуто питання керування транспортними потоками міст і впливу транспортних засобів на навколишнє середовище.

На макрорівні: побудовано математичну модель руху транспортних засобів через світлофорне перехрестя, що дозволяє визначити оптимальні режими керування світлофорами та виконати оцінку простою транспортних засобів в очікуванні руху.

На мікрорівні: запропоновано використання вимірника сталого розвитку транспортної системи міста, що базується на основі соціального, економічного та екологічного показника. Значення цього вимірника складає близько 20-25% від ВВП міста.

ЛІТЕРАТУРА

1. Статистичні данні [Електронний ресурс] / *Міністерство Інфраструктури України* // – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://mtu.gov.ua/content/statistichni-dani-po-galuzi-avtomobilnogo-transportu.html?PrintVersion>.
2. Lighthill M.J., Whitham F.R.S. On kinetic waves II. A theory of traffic flow on crowded roads / M.J. Lighthill, F.R.S. Whitham // *Proc. of the Royal Society Ser.*, 1995, vol. 229, no 1178, pp. 317-345.
3. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков / Ф. Хейт. – М.: Мир, 1966. – 286 с.
4. *PTV Vision* [Електронний ресурс] / Програмні продукти // – Режим доступу: <http://www.ptv-vision.ru>
5. *Система Сервіс* [Електронний ресурс] / Програмні продукти // – Режим доступу: <http://komkon.ua/ru/products/sw/>
6. *Дорожній менеджер* [Електронний ресурс] / Програмні продукти // – Режим доступу: <http://www.mallenom.ru/products/modelirovanie-i-iskusstvennyi-intelekt/dorozhnyi-menedzher/>
7. Пуртов, А. М. Интеграция технологии ГИС и метода редукции графов для анализа транспортных сетей / А. М. Пуртов // *Омский научный вестник* №1 – Д., 2011. – Вип. 97. – С. 164 – 168.
8. Михеева, Т. И. Моделирование движения в интеллектуальной транспортной системе / Т.И. Михеева // *Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва* – Д., 2004. – Вип. 2. – С. 118 – 126.
9. Скалозуб, В. В. Моделирование неоднородных транспортных потоков с переменными тарифами / В. В. Скалозуб, Л. А. Паник // *Транспортные системы и технологии перевозок* – Д., 2015. – Вип. 10. – С. 105 – 111.
10. Мороз В. І. Визначення перспективних напрямків удосконалення конструкції напіввагонів виробництва ДП «Укрспецвагон» // *Зб. наук. праць.-Харків: УкрДАЗТ.* – 2008. – С. 72-81.
11. Kelrykh, M. Perspective directions of planning carrying systems of gondolas/ M. Kelrykh / *Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry»*. 2014, No. 6 – P.64-67.
12. Мороз, В. І. «Математичний запис задачі оптимізаційного проектування напіввагонів за критерієм мінімальної матеріалоемності». – *Зб. наук. праць.* – Харків: УкрДАЗТ (2009): – С. 121–131.
13. Козаченко, Д. М. Дослідження параметрів потоків поїздів на залізничних напрямках / Д. М. Козаченко, Г. Я. Мозолевиц // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий* – Д., 2010. – Вип. 45 – С. 17 – 21.
14. Трапезникова, М. А. Моделирование многополосного движения автотранспорта на основе теории клеточных автоматов / М.А. Трапезникова // *Математическое моделирование.* – 2011. – т. 23, № 6. – С. 133 – 146.

15. Смирнов, Н. Н. Математическое моделирование движения автотранспортных потоков методами механики сплошной среды. Двухполосный транспортный поток: модель Т-образного перекрестка, исследование влияния перестроений транспортных средств на пропускную способность участка магистрали / Н. Н. Смирнов, А. Б. Киселев, В. Ф. Никитин, А. В. Кокорева // ТРУДЫ МФТИ. – 2010. – т. 2, № 4. – С. 141 – 151.
16. Завалишин, Д. С. Исследование математической модели регулируемого перекрестка / Д. С. Завалишин, Г. А. Кокорева // Труды института математики и механики. – 2009. – т.15, № 4. – С. 108 – 119.
17. Шторм, Р. Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества / Р. Шторм. – М. : Мир, 1970. – 368 с.
18. Кондратьев, А. Е. Роль экологически чистого транспорта в поддержке устойчивого развития городов / А. Е. Кондратьев // Теория и практика общественного развития – Д., 2012. – Вип. 4. – С. 342 – 344.
19. Селифонов, В. В. Теория Автомобиля: учебник / В. В. Селифонов, А.Ш. Хусаинов, В.В. Ломакин – М. : МГТУ МАМИ, 2007. – 102 с.
20. Беляев, Н. Н. Моделирование загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта на улицах городов / Н. Н. Беляев, Т. И. Русакова, П. С., Кириченко – Д. : Акцент ПП, 2014. – 159 с.
21. Тарасова, В. В. Вплив забруднення атмосферного повітря на стан здоров'я населення / В.В. Тарасова // Агросвіт – Д., 2013. – Вип. 16. – С. 24 – 28.

***Mozolevych Grygorii, Ph.D. (Associate Professor of «Stations and junctions» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after V. Lazaryan)
Andrii Shopot, (Undergraduate of «Stations and junctions» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after V. Lazaryan)***

DEVELOPMENT ASSESSMENT METHOD OF SUSTAINABLE TRANSPORT SYSTEM CITY

In the late XX and XXI centuries there is the continuous process of urbanization. This explains the steady increase of needs to move traffic within cities and corresponding increase of traffic and bandwidth transport networks.

The aim of the above research is developing a method of evaluating the sustainable development of the transport system of the city (CTS). The object of research at the micro level is the movement of traffic at intersections, at the macro level it is problems of CTS. The subject is bridge traffic flows and their impact on sustainable development indicators.

Research methods are mathematical theory of traffic flow, simulation, queuing theory, methods of probability theory and mathematical statistics.

The paper presents the use of measuring sustainable development CTS. The practical significance is the ability to use this indicator in the CTS development strategy, assessment of the current condition.

CTS is a complex, dynamic, stochastic system. Its objectives are the needs in transport Freight and passenger with maximum possible speed with absolute safety compliance minimizing operating costs and environmental impact.

CTS decomposition was fulfilled for solving this goal. Simulation model of automotive intersection was constructed at the microlevel, which allows you to simulate the movement of traffic on the directions. The assess algorithms of statistical indicators of idle vehicles at intersections were designed. At the macro level the method of assessing the impact of transport on the sustainable development of cities was offered.

The method allows to quantify the costs of the transport process and identify the most problematic of its components. Total expenses, which were obtained in the calculation of the proposed meter amounted to about 20 – 25% of the GDP of the city.

Keywords: transport system of the city, a simulation model, sustainable urban development, automotive intersection, urbanization.

REFERENCES

1. *Statystichni danni ministerstvo infrastruktury ukrainy* (Statistical data Ministry of Infrastructure of Ukraine), 2016, Available at: <http://mtu.gov.ua/content/statistichni-dani-po-galuzi-avtomobilnogo-transportu.html?printversion>.
2. Lighthill M.J., Whitham F.R.S. On kinetic waves II. A theory of traffic flow on crowded roads / M.J. Lighthill, F.R.S. Whitham // *Proc. of the Royal Society Ser.*, 1995, vol. 229, no 1178, pp. 317-345.
3. Heyt F. *Matematicheskaya teoriya transportnykh potokov* [Mathematical theory of transport flows]. 1966. 286 p.
4. *Ptv Vision Prohrammi Produkty* (Ptv Vision software products), Available at: <http://www.ptv-vision.ru>
5. *Systema servis prohramni produkty* (System service software products), Available at: <http://komkon.ua/ru/products/sw/>
6. *Dorozhnyi menedzher prohramni produkty* (Road manager software products), Available at: <http://www.mallenom.ru/products/modelirovanie-i-iskusstvennyi-intelekt/dorozhnyi-menedzher/>.
7. Purtov A. M. Integratsiya tehnologi GIS i metoda reduksii grafov dlya analiza transportnih setey [Integration of GIS technology and method of graph reduction for analysis of transport networks]. *Omskiy nauchniy vestnik* [Omsk Scientific Bulletin], 2011, issue 1, pp. 164 – 168
8. Miheeva T. I. Modelirovanie dvizheniya v intellektualnoy transportnoy sisteme [Motion modeling in an intelligent transport system]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. akademika S.P. Korol'ova* [Bulletin of the Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolova], 2004, issue 2, pp. 118 – 126.
9. Skalozub V. V., Panik L. A. Modelirovanie neodnorodnykh transportnykh potokov s peremennymi tarifami [Modeling of heterogeneous transport flows with variable tariffs]. *Transportnye sistemy i tehnologii perevozok* [Transport systems and transport technologies], 2015, issue 10, pp. 105 – 111
10. Moroz, V. I. (2008). Vyznachennia perspektivnykh napriamkiv udoskonalennia konstruksii napivvagoniv vyrobnytstva DP «Ukrspetsvagon» [Determination of the promising direction for improvement of the open car design of SE «Ukrspetsvagon»]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi Derzhavnoi Akademii Zaliznychnoho Transportu*, 72-81.
11. Kelrykh M. (2014) Perspective directions of planning carrying systems of gondolas. Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». No 6, p.p. 64-67
12. Moroz V.I. (2009) Matematychnyy zapys zadachi optymizatsiynoho proektuvannya piv-vahoniv za kryteriyem minimal'noy materia-loyemnosti [Mathematical notation of problem of optimizing design of open goods wagons by criterion of the minimum material capacity]. *Zbirnyk naukovykh prats* [Collection of scientific papers]. Kharkiv. Ukrainian State University of Railway Transport. No 111, p.p. 121-131.
13. Kozachenko D. M., Mozolevych H. Ya. Doslidzhennia parametriv potokiv poizdiv na zaliznychnykh napriamkakh [Research options streams trains on the rail direction]. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnalпередовий tehnologii* [Eastern European Journal of Advanced Technology], 2010, issue 45, pp. 17 – 21.
14. Trapeznikova M. A. Modelirovanie mnogopolosnogo dvizheniya avtotransporta na osnove teorii kletochnykh avtomatov [Modeling of multiband traffic of vehicles based on the theory of cellular automata]. *Matematicheskoe modelirovanie – Math modeling*, 2011, vol. 23, no. 6, pp. 133 – 146.
15. Smirnov N. N., Kiselev A. B., Nikitin V. F., Kokoreva A. V. Matematicheskoe modelirovanie dvizheniya avtotransportnykh potokov metodami mehaniki sploshnoy sredy. Dvuhpolosnyi transportnyi potok: model T-obraznogo perekrestka, issledovanie vliyaniya perestroeniy transportnykh sredstv na propusknyuyu sposobnost uchastka magistrali [Mathematical modeling of traffic flows by the methods of continuum mechanics. Two-lane transport stream: model of the T-junction, study of the effect of vehicle rebuilding on the capacity of the section of the highway]. *TRUDYI MFTI – Proceedings of MIPT*, 2010, vol. 2, no. 4, pp. 141 – 151.
16. Zavalishin D. S., Timofeeva G. A. Issledovanie matematicheskoy modeli reguliruемого pere-krestka [The study of the mathematical model of an adjustable intersection]. *Trudyi instituta matematiki i mehaniki – Proceedings of the Institute of Mathematics and Mechanics*, 2009, vol. 15, no. 4, pp. 108 – 119.
17. Shtorm R. Teoriya veroyatnostey. Matematicheskaya statistika. Statisticheskii kontrol kachestva [Probability theory. Math statistics. Statistical quality control]. 1970. 368 p.
18. Kondratev A. E. Rol ekologicheskii chistogo transporta v podderzhke ustoychivogo razvitiya gorodov [The role of environmentally friendly transport in supporting sustainable urban development]. *Teoriya i praktika obschestvennogo razvitiya* [Theory and practice of social development], 2012, issue 4, pp. 342 – 344.
19. Selifonov V. V., Husainov A. Sh., Lomakin V. V. Teoriya Avtomobilya: uchebnik [Theory of the car: textbook]. MSTU MAMI, 2007. 102 p.
20. Belyaev N. N., Rusakova T.I., Kirichenko P.S. Modelirovanie zagryazneniya atmosfernogo vozduha vyibrosami avtotransporta na ulitsah gorodov [Simulation of atmospheric air pollution by vehicle emissions on city streets]. *Aktsent PP*, 2014. 159 p.
21. Tarasova V. V. Vplyv zabrudnennia atmosfernoho povitria na stan zdorovia naselennia [The impact of air pollution on public health]. *Ahrosvit* [World agricultural industry], issue 16, pp. 24 – 28.