

УДК 656.135.073

д.т.н., професор Линник І.Е.,
д.т.н., професор Харченко В.Ф.
Харківський національний університет
міського господарства імені О.М. Бекетова
к.т.н., доцент Синій С.В.,
Луцький національний технічний університет

ЕВОЛЮЦІЯ ЕРГАТИЧНОЇ СИСТЕМИ НА ПРИКЛАДІ ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГІВ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПАСАЖИРІВ АВТОБУСОМ У М. ХАРКОВІ

Розглянута еволюція ергатичної системи «водій – транспортний засіб – транспортна мережа – середовище» на прикладі прогнозування обсягів перевезень пасажирів автобусом у м. Харкові з урахуванням впливу середовища. Визначено вплив зовнішнього середовища на стан ергатичної системи, в якості якого прийнято виробництво валового внутрішнього продукту.

Ключові слова: прогнозування, еволюція, обсяги перевезень, середовище, валовий внутрішній продукт.

Вступ

Незважаючи на велику кількість виконаних досліджень у прогнозуванні еволюції ергатичних систем, багато питань залишається недостатньо вивченими. Тому вирішення завдання прогнозування еволюції ергатичних систем з урахуванням впливу середовища на їх стан у сучасних умовах є актуальним.

1. Аналіз літературних джерел і постановка проблеми

Для прогнозування обсягів перевезень використовують методи екстраполяції, аналізу транспортних зв'язків, експертних оцінок, багатофакторного аналізу [1–9] тощо. Існуючі методи доволі успішно застосовуються з метою створення систем визначених властивостей: організованої структури і адаптивності. Але вони не використовують усіх можливостей ідей еволюційного моделювання. Крім цього, майже всі вони дають достатню точність прогнозування на незначний період часу (короткостроковий і середньостроковий прогноз); деякі моделі прогнозування мають жорстко фіксовану структуру; недостатньо мірою враховуються тенденції розвитку факторів; неможливість оцінити випадкові та ймовірнісні компоненти досліджуваних процесів.

При прогнозуванні еволюції ергатичної системи «водій – транспортний засіб – транспортна мережа – середовище» (ВТМС) з урахуванням впливу середовища доцільно використовувати метод еволюційно-ймовірнісного моделю-

вання Гаврилова [3], згідно з яким оцінюються ймовірності переходу компонентів системи з фактичного в заданий стан.

2. Обсяги перевезень пасажирів автобусом з 1925 по 2014 рр.

Важливу роль у структурі економіки і життєдіяльності міст відіграє пасажирський транспорт. Існуюча транспортна система міста Харкова є складною структурою, що включає метрополітен, трамвай, тролейбус, автобус та маршрутні таксі. Велика кількість пасажирів Харкова обслуговується автобусним транспортом.

Для виконання прогнозу еволюції обсягів перевезень пасажирів автобусом необхідно провести історичний аналіз його розвитку.

Перші спроби створення автобусного руху в Харкові почалися в 1910 р. з відкриттям 6 червня маршруту «Вокзал – Сумська», який проіснував недовго. З 1925 року автобусний транспорт знову з'явився на вулицях міста і розпочав регулярно перевозити пасажирів. У 1927 р. на маршрутах міста працювало 32 автобуси. Велика Вітчизняна війна нанесла великі збитки транспортному господарству. 23 жовтня 1941 р. рух трамваїв, тролейбусів та автобусів був припинений через окупацію Харкова німцями. У 1943 р. почалось часткове відновлення руху пасажирського транспорту. Цей період продовжувався до середини 50-х років. В 1978 році на 50 маршрутах щоденно працювали 465 автобусів. З 90-х років обсяги перевезень автобусом значно збільшились. Це пов'язано з тим, що майже всі автобусні парки перейшли на комерційну форму власності. У місті з'явилося багато маршрутних таксі, які дублюють основні популярні маршрути електричного транспорту.

Значна частина приватних перевізників не надає звітності про перевезення пасажирів. Низький показник рухомості за наданими перевізниками даними не відповідає реальним обсягам перевезень. Тому обсяги перевезень пасажирів автобусами прийнято за розрахунками [10]. Динаміка обсягів перевезень пасажирів автобусом показана на рис. 1.

Аналіз представленої динаміки показує, що зміни обсягів перевезень пасажирів носять хвилеподібний характер. Періоди зростання чи падіння обсягів перевезень чергуються з періодами їхньої стабілізації. У періоди стабілізації спостерігається зростання обсягів перевезень, закупівля нових автобусів тощо. У періоди зростання реалізуються можливості цих змін. Тобто історичний розвиток включає етапи розвитку і етапи функціонування системи. Система функціонує в закритому (замкненому) стані, цілі її існування не змінюються. Розвиток відбувається в періоди відкритого (розімкнутого) стану системи і супроводжується її структурною та функціональною перебудовою. У процесі розвитку змінюються цілі існування системи.

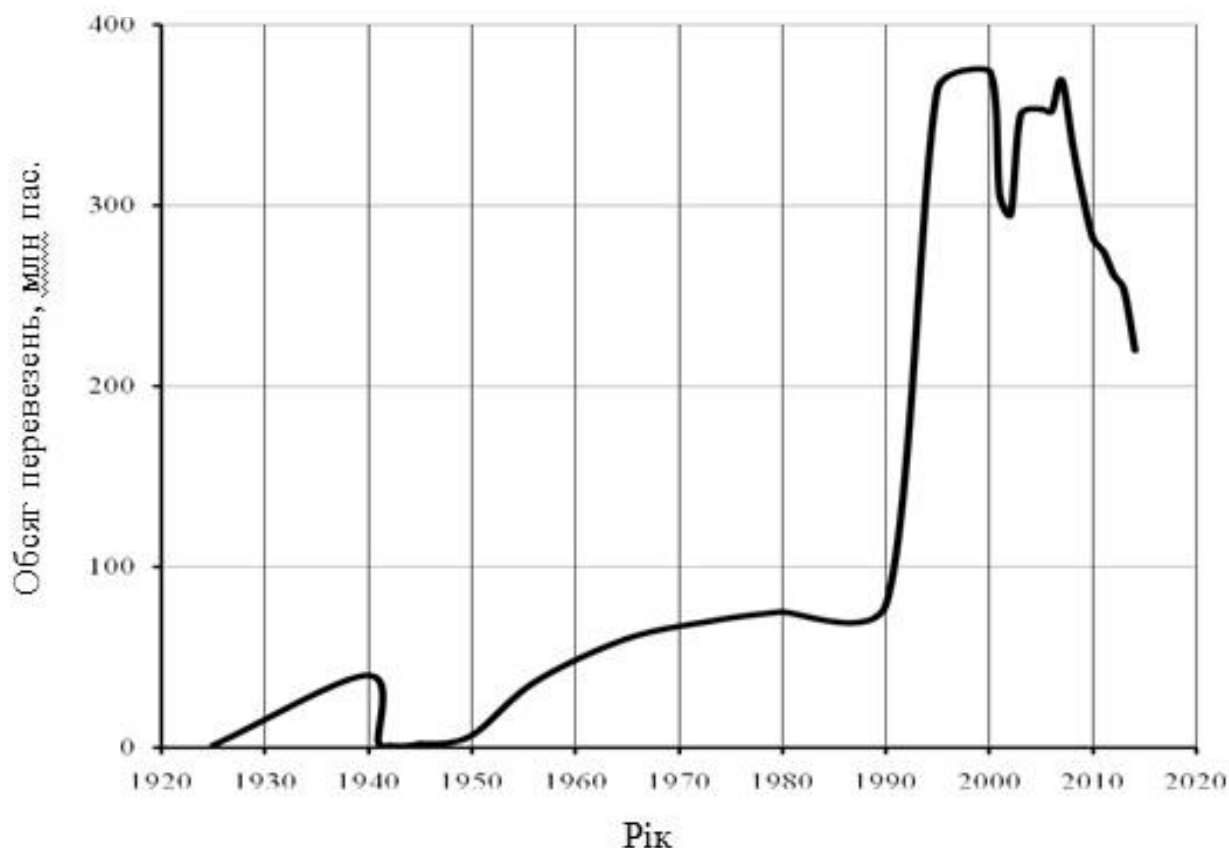


Рис. 1. Динаміка обсягів перевезень пасажирів автобусом у м. Харкові

3. Моделювання еволюції ергатичної системи

Рівняння динамічної рівноваги компонентів системи «водій – транспортний засіб – транспортна мережа – середовище» в замкнутому стані можна представити у вигляді:

$$\begin{aligned}
 \frac{d^2 V_v}{dt^2} + \left[\frac{\Phi_v}{C_v} + \frac{\Phi_c}{C_c} \right] \frac{dV_v}{dt} + \left[\frac{1}{C_v C_c} \cdot \frac{\partial Q_{vH}}{\partial P_c} \cdot \frac{\partial Q_{cH}}{\partial P_v} + \frac{\Phi_v \Phi_c}{C_v C_c} \right] V_v &= 0, \\
 \frac{d^2 V_m}{dt^2} + \left[\frac{\Phi_m}{C_m} + \frac{\Phi_M}{C_M} \right] \frac{dV_m}{dt} + \left[\frac{1}{C_m C_M} \cdot \frac{\partial Q_{mH}}{\partial P_M} \cdot \frac{\partial Q_{MH}}{\partial P_m} + \frac{\Phi_m \Phi_M}{C_m C_M} \right] V_m &= 0, \\
 \frac{d^2 V_M}{dt^2} + \left[\frac{\Phi_M}{C_M} + \frac{\Phi_m}{C_m} \right] \frac{dV_M}{dt} + \left[\frac{1}{C_M C_m} \cdot \frac{\partial Q_{MH}}{\partial P_m} \cdot \frac{\partial Q_{mH}}{\partial P_M} + \frac{\Phi_M \Phi_m}{C_M C_m} \right] V_M &= 0, \\
 \frac{d^2 V_c}{dt^2} + \left[\frac{\Phi_c}{C_c} + \frac{\Phi_v}{C_v} \right] \frac{dV_c}{dt} + \left[\frac{1}{C_c C_v} \cdot \frac{\partial Q_{cH}}{\partial P_v} \cdot \frac{\partial Q_{vH}}{\partial P_c} + \frac{\Phi_c \Phi_v}{C_c C_v} \right] V_c &= 0,
 \end{aligned} \tag{1}$$

де V_v, V_m, V_M, V_c – швидкості зміни стану відповідно водія, транспортного засобу, транспортної мережі, середовища; $Q_{vH}, Q_{mH}, Q_{MH}, Q_{cH}$ – норми абсолютних

організацій водія, транспортного засобу, транспортної мережі та середовища відповідно; $C_{\epsilon}, C_m, C_M, C_c$ – організаційна ємність водія, транспортного засобу, транспортної мережі та середовища відповідно; $P_{\epsilon}, P_m, P_M, P_c$ – імовірності прийняття заданих станів відповідно водієм, транспортним засобом, транспортною мережею, середовищем; $\Phi_{\epsilon}, \Phi_m, \Phi_M, \Phi_c$ – чинники стабільності,

$$\Phi_i = \left(\frac{\partial Q_i}{\partial P_i} - \frac{\partial Q_{iH}}{\partial P_i} \right).$$

Рівняння динамічної рівноваги системи ВТМС у цілому:

$$\frac{dV_S}{dt} + V_S = \frac{I}{C_S} \left[\begin{array}{l} \frac{\partial Q_{\epsilon H}}{\partial P_{\epsilon}} V_{\epsilon} + \frac{\partial Q_{\epsilon H}}{\partial P_c} V_c + \frac{\partial Q_{mH}}{\partial P_m} V_m + \frac{\partial Q_{mH}}{\partial P_M} V_M - \\ - \frac{\partial Q_{MH}}{\partial P_M} V_M - \frac{\partial Q_{MH}}{\partial P_m} V_m - \frac{\partial Q_{cH}}{\partial P_c} V_c - \frac{\partial Q_{cH}}{\partial P_{\epsilon}} V_{\epsilon} \end{array} \right], \quad (2)$$

де V_S – швидкість зміни стану системи ВТМС; C_S – організаційна ємність системи ВТМС.

На першому циклі еволюції в інтервалах формування детермінізму рівняння динамічної рівноваги системи у замкнутому стані можуть бути представлені у вигляді:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 V_{\epsilon}}{dt^2} + \frac{dV_{\epsilon}}{dt} + 0,5V_{\epsilon} &= 0, \\ \frac{d^2 V_m}{dt^2} + \frac{dV_m}{dt} + 0,5V_m &= 0, \\ \frac{d^2 V_M}{dt^2} + \frac{dV_M}{dt} + 0,5V_M &= 0, \\ \frac{d^2 V_c}{dt^2} + \frac{dV_c}{dt} + 0,5V_c &= 0, \end{aligned} \quad (3)$$

де $V_{\epsilon}, V_m, V_M, V_c, V_S$ – швидкості зміни координат стану відповідно водія, транспортного засобу, транспортної мережі, середовища і системи ВТМС.

Рівняння динамічної рівноваги системи ВТМС як єдиного цілого:

$$\frac{dV_S}{dt} + V_S = 0,5V_{\epsilon} - 0,5V_c + V_m - V_M. \quad (4)$$

На другому циклі еволюції відбувається декомпозиція відносин між частинами системи, тобто руйнування системи. Тому рівняння динамічної рівноваги частин системи можуть бути представлені у вигляді:

$$\begin{aligned}\frac{d^2V_{\epsilon}}{dt^2} - \frac{dV_{\epsilon}}{dt} + 0,5V_{\epsilon} &= 0, \\ \frac{d^2V_m}{dt^2} - \frac{dV_m}{dt} + 0,5V_m &= 0, \\ \frac{d^2V_M}{dt^2} - \frac{dV_M}{dt} + 0,5V_M &= 0, \\ \frac{d^2V_c}{dt^2} - \frac{dV_c}{dt} + 0,5V_c &= 0.\end{aligned}\tag{5}$$

Рівняння динамічної рівноваги системи ВТМС як єдиного цілого:

$$\frac{dV_S}{dt} + V_S = -0,5V_{\epsilon} + 0,5V_c - V_m - V_M.\tag{6}$$

Розмикання системи ВТМС розширює її елементний склад за рахунок підключення до неї нової частини середовища, призначеної для асиміляції. У розімкненому стані рівняння динамічної рівноваги оцінюється за формулою:

$$V_{\epsilon} + V_c + V_S = V_{nc} - V_c.\tag{7}$$

де V_{nc} – швидкість зміни стану нової частини середовища.

Динаміка поточної ентропії підсистеми «водій»:

$$\begin{aligned}\frac{dH_{\epsilon 3}}{dt} &= 2V_{\epsilon}, \\ \frac{dH_{\epsilon 6}}{dt} &= V_{\epsilon} + V_c, \\ \frac{dH_{n\epsilon}}{dt} &= 3V_{\epsilon} + V_c,\end{aligned}\tag{8}$$

де $H_{\epsilon 3}$ – ентропія, що здобувається підсистемою «водій»; $H_{\epsilon 6}$ – ентропія, що вилучається із підсистеми «водій»; $H_{n\epsilon}$ – поточне значення ентропії підсистеми «водій».

Динаміка поточної ентропії нового середовища:

$$\begin{aligned}\frac{dH_{нсз}}{dt} &= V_в + V_с, \\ \frac{dH_{нсв}}{dt} &= 2V_в, \\ \frac{dH_{ннс}}{dt} &= 3V_в + V_с.\end{aligned}\tag{9}$$

де $H_{нсз}$ – ентропія, що здобувається новим середовищем; $H_{нсв}$ – ентропія, що вилучається із нового середовища; $H_{ннс}$ – поточне значення ентропії нового середовища.

4. Визначення впливу зовнішнього середовища

Як визначено дослідженнями Я. В. Санька [11], виробництво ВВП є визначальним фактором, що впливає на обсяги перевезень пасажирів міським транспортом. При зростанні ВВП обсяги перевезень збільшуються, при зменшенні ВВП – знижуються. Таку тенденцію можна прослідкувати, проаналізувавши зміну динаміки максимальної ентропії, яку використовують для оцінки замкнених і розімкнутих станів [3]. Якщо єдине значення обсягів перевезень відповідає єдиному проміжку часу, формула для визначення максимальної ентропії матиме вигляд:

$$H_{max} = \log_2 \Pi,\tag{10}$$

де Π – значення обсягів перевезень пасажирів у момент часу t .

За результатами оцінки максимальної ентропії будуюмо динамічні ряди $H_{max} = f(t)$, (рис. 2).

Аналізуючи динаміку зміни максимальної ентропії (рис. 2) можна побачити, що після 1995 року спостерігається спад обсягів перевезень. Такий спад обсягів перевезень пов'язаний з економічними проблемами у країні (розпад Радянського Союзу, болісний і складний перехід до ринкової економіки, економічні кризи 2008–2009, 2014 рр., зниження темпів виробництва валового внутрішнього продукту тощо), тобто темпи зростання показників залежать від зовнішніх факторів (від середовища). Це наочно можна побачити, прослідкувавши динаміку зміни максимальної ентропії з 2000 року. Максимальна ентропія збільшується зі зростанням ВВП.

Тому далі необхідно визначити вплив зовнішнього середовища на еволюцію системи ВТМС. Як зазначено вище, в якості середовища приймаємо виробництво ВВП і визначаємо ймовірності прийняття заданого стану середовищем у різні періоди існування системи ВТМС.

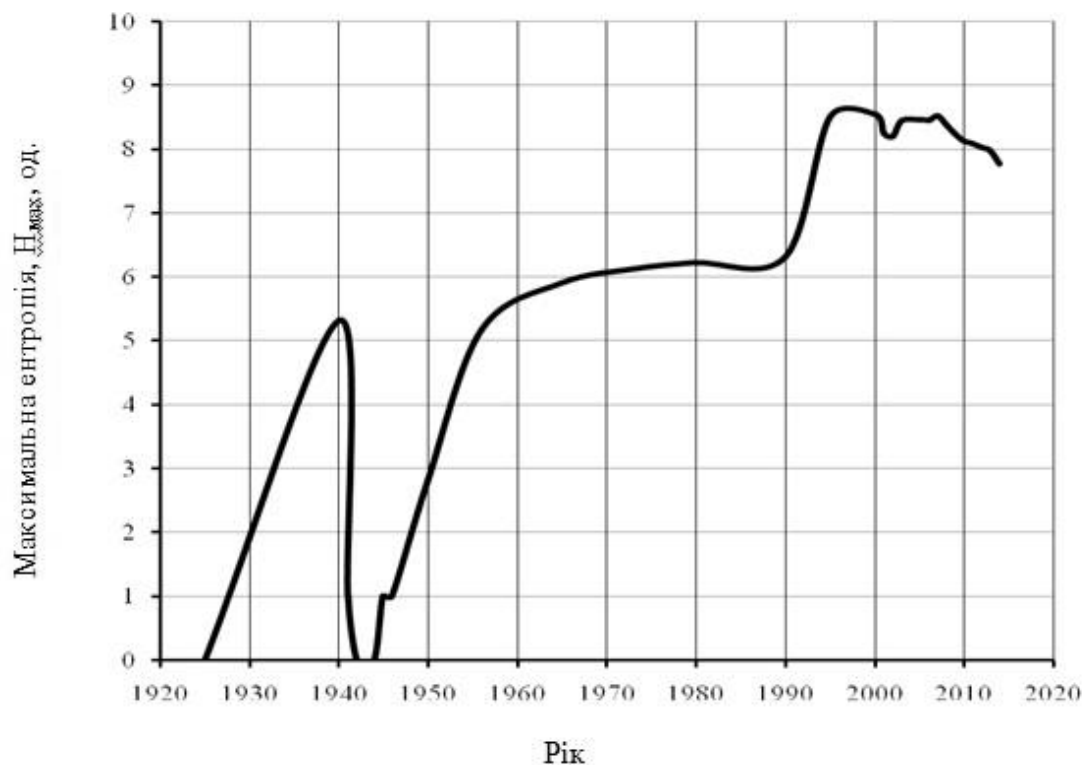


Рис. 2. Динаміка зміни максимальної ентропії обсягів перевезень пасажирів автобусом у м. Харкові

У період з 1985 по 1997 рр. система знаходиться у замкнутому стані. Ймовірність прийняття середовищем заданого стану оцінюється за формулою:

$$P_c^{BVP} = 0,0397(0,5t_3)^2 - 0,04405t_3 + 0,04863, \quad (11)$$

де t_3 – заданий час.

З 1997 по 2000 і з 2006 по 2012 роки система ВТМС знаходиться у розімкнутому стані і ймовірність прийняття заданого стану середовищем визначається так:

$$P_c^{BVP} = 1 - e^{-1,565t_3}. \quad (12)$$

З 2000 по 2006 роки система знаходиться у замкнутому стані, ймовірність прийняття середовищем заданого стану матиме вигляд:

$$P_c^{BVP} = 0,1052(0,5t_3)^2 - 0,0048t_3 + 0,0006. \quad (13)$$

5. Результати досліджень

Прогноз обсягів перевезень пасажирів автобусом м. Харкова у різні періоди існування системи ВТМС представлено на рис. 3.

Як видно з рис. 3, обсяги перевезень автобусом на першому циклі еволюції зростають, але нестабільно, що пов'язано з впливом середовища. На другому циклі спостерігається стрімкий спад обсягів перевезень. Тенденція такого спаду спостерігається вже наприкінці першого циклу еволюції. До середини XXI століття автобус, як вид міського транспорту, може закінчити своє існування.

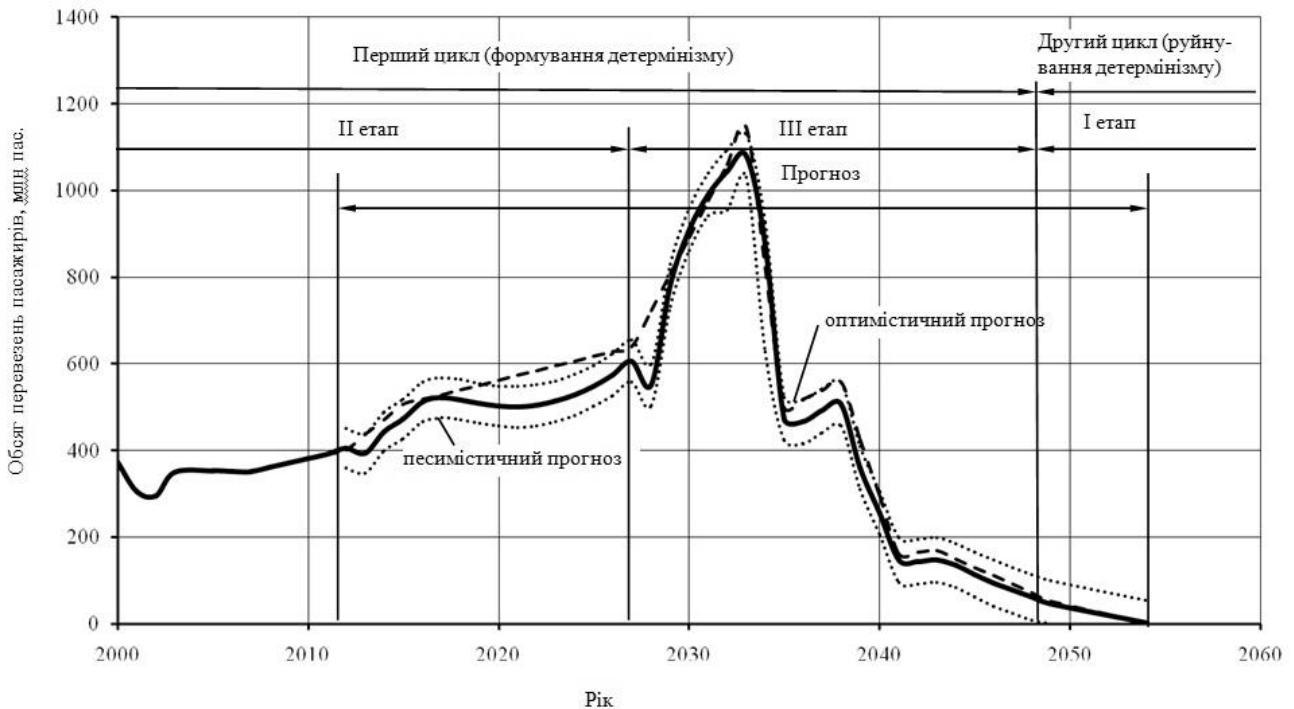


Рис. 3. Прогноз обсягів перевезень пасажирів метрополітеном у м. Харкові:

— — — — — без урахування впливу середовища; ————— з урахуванням впливу середовища; — розтруб прогнозу

Пояснити такий процес можна, по-перше, поступовим зростанням рівня автомобілізації. Як показано у попередніх дослідженнях [12], у світі співвідношення кількості поїздок на особистому транспорті до кількості поїздок на міському масовому пасажирському транспорті складає 4:1 (5:1). В Україні, навпаки, 1:4 (1:5), тобто в Україні спостерігається тенденція використання переважно міського пасажирського транспорту в найкрупніших містах. На сьогодні рівень автомобілізації в м. Харкові у порівнянні з 1991 р. зріс у 2,1 рази та становить близько 145 авт./1000 мешк. До 2070 р. передбачається його зростання до 500 авт./1000 мешк. По-друге, на зміну старим видам міського пасажирського транспорту приходять нові, з новими видами двигуна, з використанням інших видів палива тощо.

Представлений прогноз обсягів перевезень пасажирів автобусом у м. Харкові виконаний без урахування збою ритму розвитку системи, пов'язаного з

економічними кризами 2008–2009, 2014 рр. Тому розрахунки потребують корегування у подальших наукових дослідженнях.

6. Висновки

Наведене прогнозування еволюції системи «водій – транспортний засіб – транспортна мережа – середовище» з урахуванням впливу середовища дозволяє констатувати можливість використання запропонованого наукового підходу до вирішення проблем прогнозування еволюції складних ергатичних систем. Одним із шляхів розвитку запропонованого напряму дослідження може бути прогнозування при впливі не одного, а декількох факторів середовища. Результати таких досліджень необхідні при розробці Генеральних планів, Комплексних транспортних схем міст, проектів реконструкції та розвитку їхніх транспортних мереж.

Література

1. Автомобильные перевозки и организация дорожного движения : справочник / [В.У. Рэнкин, П.К. Клафи, С. Халберт и др.]; пер. с англ. – М. : Транспорт, 1981. – 592 с.
2. 4. Доля В.К. Організація пасажирських перевезень у містах / В.К. Доля – Х. : Нове слово, 2002. – 140 с.
3. 5. Прогнозирование расчетных характеристик для проектирования и эксплуатации автомобильных дорог / [Григоров М.А., Гаврилов Э.В., Григорова Т.М., Доля В.К.]. – Херсон : Надднепряночка, 2006. – 192 с.
4. 6. Пуарье Д. Эконометрия структурных изменений / Д. Пуарье. – М. : Финансы и статистика, 1981. – 183 с.
5. 7. Рабочая книга по прогнозированию / [Араб-Оглы Э. А., Бестужев-Лада И.В., Гаврилов Н.Ф. и др.]. – М. : Мысль, 1982. – 430 с.
6. 8. Янч Э. Прогнозирование научно-технического прогресса / Э. Янч; [пер. с англ.]. – М. : Прогресс, 1970. – 568 с.
7. 9. Barrel Y. The rate of technical progress the “Indianapolis 500” / Y. Barrel // *Journal of Economic Theory*. – 1972. – 4. – P. 72–81.
8. 10. Croney D.O. The design and performance of road pavements / D.O. Croney. – London: Her Majesty's stationery office, 1977. – 673 p.
9. 11. Felner W. Specific interpretation of learning by doing / W. Felner // *Journal of Economic Theory*. – 1969. – 1. – P. 119–140.
10. Транспорт [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
11. Санько Я.В. Довгострокове прогнозування обсягів перевезень пасажирів трамваєм з урахуванням впливу зовнішнього середовища (на прикладі ХКП

«Міськелектротранс»: дис. ... кандидата техн. наук : 05.22.01 / Ярослав Володимирович Санько. – Х., 2010. – 150 с.

12. Бурко Д.Л. Порівняльний аналіз рівня автомобілізації в Україні та країнах Євросоюзу // Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. «Транспортні проблеми найбільших міст». – Х., 2012. – С. 60–61.

Аннотация

Рассмотрена эволюция эргатичной системы «водитель – транспортное средство – транспортная сеть – среда» на примере прогнозирования объемов перевозок пассажиров автобусом в г. Харькове с учетом влияния среды. Определено влияние внешней среды на состояние эргатичной системы, в качестве которого принято производство валового внутреннего продукта.

Ключевые слова: прогнозирование, эволюция, объемы перевозок, среда, валовой внутренний продукт.

Abstract

The evolution of the economic system «driver – vehicle – transport network – environment» as an example of forecasting traffic volumes of passengers by bus in the city Kharkov, with the influence of the environment. The influence of environment on the state of the ergonomic system, which taken as the gross domestic product.

Keywords: forecasting, the evolution of, the volume of traffic, the environment, the gross domestic product.