

Шевчук Я. В.

ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ МЕРЕЖІ АВТОДОРІГ ІЗ ТВЕРДИМ ПОКРИТТЯМ З УРАХУВАННЯМ КОНКУРЕНТНИХ ПЕРЕВАГ

У статті за допомогою конкурентної моделі Лоткі-Вольєрра здійснено аналіз конкуренції між автомобільною і залізничною транспортною мережами та конкурентної спроможності мережі доріг із цементно-бетонним та асфальтобетонним дорожніми покриттями. Моделювання процесу розвитку за конкурентною моделлю Лоткі-Вольєрра полягало в підбиранні параметрів моделі так, щоб модельні траєкторії з максимальною точністю співпали б з апроксимуючими трендами за фактичними даними. За результатами модельного прогнозування розвитку автомобільної і залізничної мереж зроблено модельне прогнозування розвитку автомобільної і залізничної мереж до 2080 року. В рамках конкурентної моделі Лоткі-Вольєрра зроблено моделювання розвитку ґрунтових доріг і доріг з твердим покриттям та досліджено конкуренцію між дорогами з цементно-бетонним та асфальтобетонним дорожнім покриттям (тип 1), з одного боку, і чорними гравійними та чорними шосе (тип 2). З'ясовано, що в цій моделі ґрунтові дороги не чинять ніякої конкуренції дорогам з твердим покриттям, хоча в повоєнні роки цей вид доріг виявив життєздатність завдяки своїй дешевизні.

Ключові слова: транспортна система, автомобільна транспортна мережа, залізнична мережа, вантажооборот, моделювання, модельне прогнозування, транспортні моделі, модель Лоткі-Вольєрра

Рис.: 12. *Формул.:* 5. *Бібл.:* 15.

Шевчук Ярослав Васильович – доктор економічних наук, доцент, професор, кафедра маркетингу, Тернопільський інститут соціальних та інформаційних технологій (вул. Танцорова, 51, Тернопіль, 46008, Україна)

Email: yaroslsh@gmail.com

УДК 338.49:339.137:338.27

Шевчук Я. В.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ СЕТИ АВТОДОРОГ С ТВЁРДЫМ ПОКРЫТИЕМ С УЧЁТОМ КОНКУРЕНТНЫХ ПРЕИМУЩЕСТВ

В статье с помощью конкурентной модели Лотки-Вольєрра осуществлен анализ конкуренции между автомобильной и железнодорожной транспортной сетями и конкурентная способность сети дорог с цементно-бетонным и асфальтобетонными дорожными покрытиями. Моделирование процесса развития по конкурентной модели Лотки-Вольєрра заключалось в подборе параметров модели так, чтобы модельные траектории с максимальной точностью совпали бы с аппроксимирующими трендами по фактическим данным. По результатам модельного прогнозирования развития автомобильной и железнодорожной сетей сделано модельное прогнозирование развития автомобильной и железнодорожной сетей к 2080 году. В рамках конкурентной модели Лотки-Вольєрра сделано моделирование развития ґрунтовых дорог и дорог с твердым покрытием и исследована конкуренция между дорогами с цементно-бетонным и асфальтобетонным дорожным покрытием (тип 1), с одной стороны, и черными гравийными и черными шоссе (тип 2). Выяснено, что в этой модели ґрунтовые дороги не оказывают никакой конкуренции дорогам с твердым покрытием, хотя в послевоенные годы этот вид дорог был жизнеспособным благодаря своей дешевизне.

Ключевые слова: транспортная система, автомобильная транспортная сеть, железнодорожная сеть, грузооборот, моделирование, модельное прогнозирование, транспортные модели, модель Лотки-Вольєрра

Рис.: 12. *Формул.:* 5. *Библ.:* 15.

Шевчук Ярослав Васильевич – доктор экономических наук, доцент, профессор, кафедра маркетинга, Тернопольский институт социальных и информационных технологий (ул. Танцорова, 51, Тернополь, 46008, Украина)

Email: yaroslsh@gmail.com

UDC 338.49:339.137:338.27

Shevchuk Y. V.

FORECASTING DEVELOPMENT OF THE NETWORK OF HIGHWAYS WITH HARD SURFACE WITH CONSIDERATION OF COMPETITIVE ADVANTAGES

The article uses Lotka-Volterra equations to analyse competition between the highway and railway transportation networks and competitive ability of the network with the cement concrete and asphalt concrete road coverings. Modelling the process of development by the Lotka-Volterra equations lies in selection of parameters of the model in such a manner, so that model trajectories would be very similar to approximating trends by factual data. In accordance with the results of model forecasting of development of highway and railway networks the article makes a model forecasting of development of highway and railway networks by 2080. Within the framework of the Lotka-Volterra equations, the article conducts modelling of development of earth roads and roads with hard surface and studies competition between the roads with cement concrete and asphalt concrete road coverings (type 1), on the one hand, and road-mix and bituminous macadam roads (type 2). The article establishes that earth roads do not compete with the roads with hard surface, although this type of roads was viable in the post-war period due to its cheapness.

Key words: transport system, highway network, railway network, freight turnover, modelling, model forecasting, transport models, Lotka-Volterra equations

Pic.: 12. *Formulae:* 5. *Bibl.:* 15..

Shevchuk Yaroslav V. – Doctor of Science (Economics), Associate Professor, Professor, Department of marketing, Ternopil Institute of Social and Information Technologies (vul. Tantsorova, 51, 46008, Ukraine)

Email: yaroslsh@gmail.com

В наш час на порядку денному гостро стоїть необхідність дослідження динаміки розвитку української автомобільної мережі доріг з твердим покриттям різних типів і вантажообороту, що знаходяться в конкурентних взаємовідносинах із залізницею, ґрунтовими дорогами, а також потреба визначення відносної сили учасників конкурентної боротьби. Такі дослідження здійснюються на основі застосування ряду методів і моделей. В розвинених країнах світу дослідники, які здійснюють подібні прогнози, останнім часом використовують конкурентну модель Лоткі-Вольтерра [10; 14]. Ця модель є ідеалізованим припущенням і може бути застосована для опису конкуренції різними учасниками [9; 11]. Серед вітчизняних публікацій, що присвячені застосуванню конкурентної моделі Лоткі-Вольтерра, потрібно відзначити роботи [1; 4].

Оскільки моделі Лоткі-Вольтерра базуються на рівнянні логістичної кривої Ф. П. Ферхюльста [13], яке має універсальний характер [11], то було цікавим застосувати конкурентну модель Лоткі-Вольтерра для опису динаміки розвитку залізничного і автомобільного транспортів, ґрунтових доріг і доріг з твердим покриттям тощо та визначення їх конкурентних характеристик.

Конкурентна модель Лоткі-Вольтерра є системою диференціальних рівнянь, які в «автодорожній» інтерпретації мають вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{dL_1}{dt} &= \frac{r_1 L_1 (L_{f1} - L_1 - \alpha L_2)}{L_{f1}}, \\ \frac{dL_2}{dt} &= \frac{r_2 L_2 (L_{f2} - L_2 - \beta L_1)}{L_{f2}}, \end{aligned} \quad (1)$$

де індекси 1 і 2 відносяться до загальної протяжності транспортних мереж двох типів відповідно;

L_1 і L_2 – поточна протяжність мереж на даний момент часу;

L_{f1} і L_{f2} – граничні протяжності мереж;

r_1 і r_2 – питомі швидкості росту мереж;

α і β – коефіцієнти конкуренції.

На рис. 1 показано фактичні траєкторії розвитку автомобільної і залізничної транспортної мереж України за даними [2; 3; 6; 7].

З рис. 1 видно, що розвиток транспортних мереж припинявся і навіть регресував у роки громадянської і другої світової війн, а також у період 1990–2010 років.

Для адекватного відображення процесів розвитку транспортних мереж за допомогою конкурентної моделі Лоткі-Вольтерра з цих даних потрібно вилучити період з 1990 по 2007 рік з двох причин:

- 1) уповільнення розвитку або деградація пов'язана не із закінченням формування мереж, а з інших чинників;
- 2) зазначений період припадає на кінцівки траєкторій, отже, ми не можемо інтерполювати фактичні і майбутні дані.

На рис. 2 показано апроксимуючі траєкторії розвитку транспортних мереж з вилученими даними за 1991–2007 роки (поліноми 4-го і 3-го ступенів).

Моделювання процесу розвитку за конкурентною моделлю Лоткі-Вольтерра полягало в підбиранні параметрів моделі так, щоб модельні траєкторії з максимальною точністю співпали б з апроксимуючими трендами за фактичними даними, при цьому використано пакет програм Populus 5.4, який був створений для аналізу конкуренції двох конкурентів за ресурси (prof. Don Alstad, Department

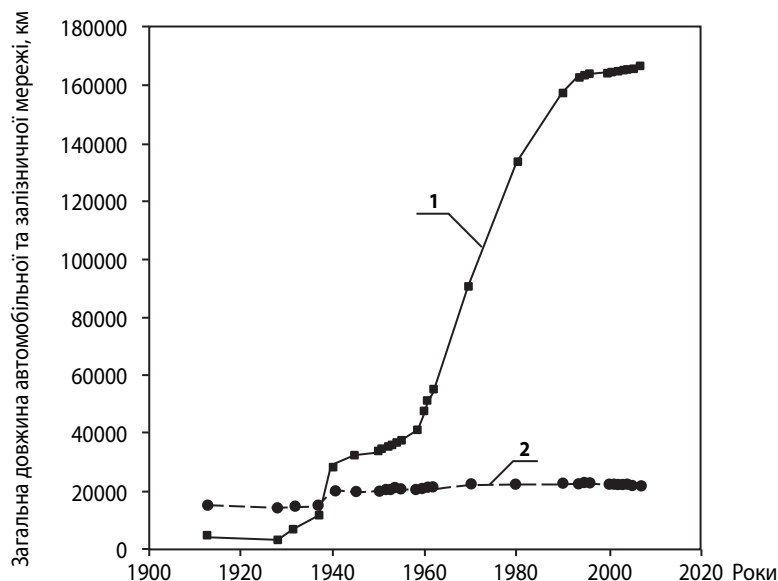


Рис. 1. Фактичні траєкторії розвитку транспортних мереж в Україні: 1 – автомобільна мережа доріг з твердим покриттям; 2 – залізнична мережа

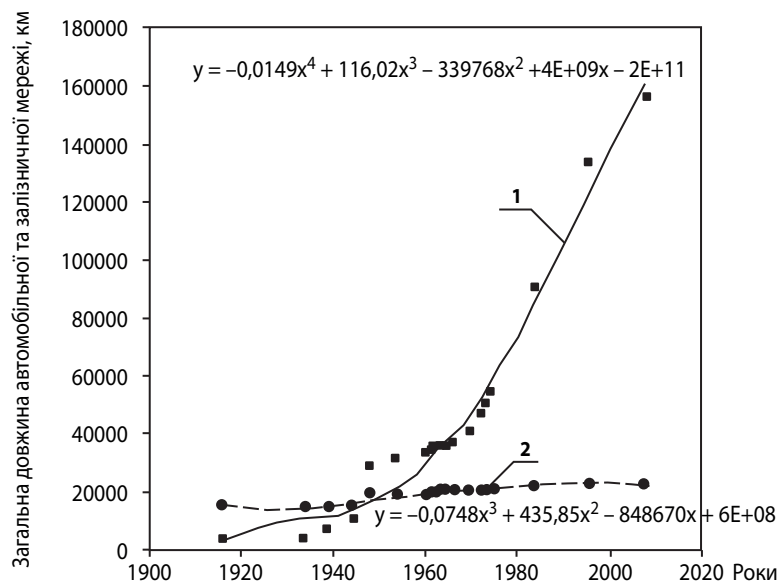


Рис. 2. Апроксимуючі тренди автомобільної (1) і залізничної (2) транспортних мереж за фактичними даними

of Ecology, Evolution and Behavior, University of Minnesota, USA, 2007) в частині Lotka-Volterra Competition.

На рис. 3 показано траєкторії за апроксимуючими і модельними трендами, які дозволяють переконатись в, практично, повній ідентичності апроксимуючих і модельних траєкторій.

Зазначимо, що навіть в умовах конкуренції гранична протяжність автомобільної мережі L_{f1} згідно з історичним розвитком повинна була б становити 260 тис. км, а залізничної, $- L_{f2}$ – 100 тис. км, тобто конкурентна боротьба заважає розвитку як автомобільної, так і залізничної мереж.

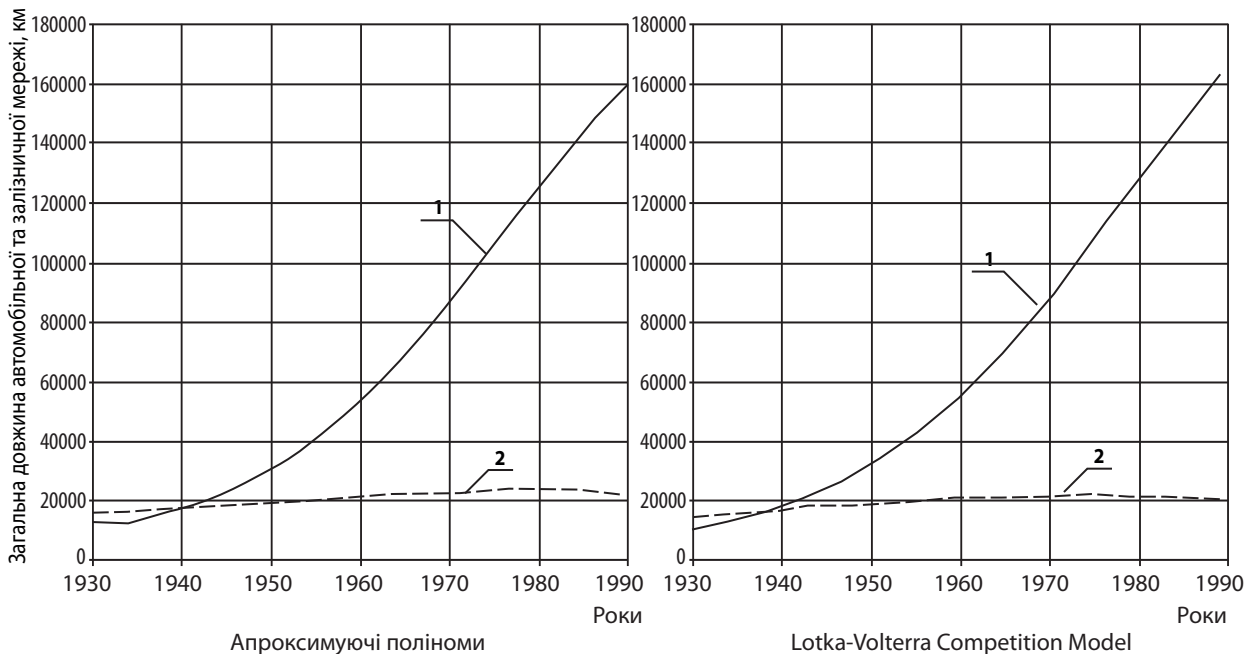


Рис. 3. Апроксимуючі робочі тренди за фактичними даними у період з 1930 по 1990 роки і результати моделювання за конкурентною моделлю Лоткі-Вольєрра автомобільної (1) і залізничної (2) транспортних мереж.

(Модельні траєкторії одержано за таких параметрів: $L_{01} = 10$ тис. км, $L_{02} = 14,2$ тис. км, $r_1 = 0,065$ рік⁻¹, $r_2 = 0,02$ рік⁻¹, $L_{f1} = 260$ тис. км, $L_{f2} = 100$ тис. км, $\alpha = 0,3$, $\beta = 0,75$)

Коефіцієнти конкуренції α і β є досить невеликими, хоча автомобільна конкуренція була в 2,5 рази сильнішою. В той же час можна бачити, що питомі швидкості росту різко відрізняються, тому річні коефіцієнти приросту автомобільної мережі становила $K_{np1} = e^{0,065} = 1,067$ (6,7 % на рік), а залізничної – $K_{np2} = e^{0,02} = 1,02$ (2 % на рік), тобто за часів СРСР і УРСР керівництво України завжди приділяло більшу увагу розвитку автомобільних доріг, ніж залізничним коліям, можливо, тому, що розвиток залізничної мережі був майже завершеним (ми не беремо до уваги якість залізничного полотна і якість рухомого складу).

На рис. 4 показано можливі траєкторії обох мереж до 2080 року, з якого можна бачити поступовий занепад залізниці і позитивний розвиток автотранспортних мереж.

Однак потрібно взяти до уваги, що математична модель залишається всього лише моделлю, і за 150 років від 1930 року в дійсності можуть відбутись кардинальні зміни в пріоритетах розвитку.

Однак більш важливим, на нашу думку, є не виявлення конкуренції між залізничною і автотранспортною мережами, де головним критерієм є загальні протяжності мереж, а встановлення параметрів конкуренції за вантажооборотом. У «вантажоборотної» інтерпретації модель (1) набуде наступного вигляду:

$$\begin{aligned} \frac{dTG_1}{dt} &= \frac{r_1 TG_1 (TG_{f1} - TG_1 - \alpha TG_2)}{TG_{f1}} \\ \frac{dTG_2}{dt} &= \frac{r_2 TG_2 (TG_{f2} - TG_2 - \beta TG_1)}{TG_{f2}} \end{aligned} \quad (2)$$

де TG – вантажооборот в тоннокілометрах (turnover of goods).

На рис. 5 показано апроксимуючі і модельні траєкторії розвитку вантажооборотів, починаючи з 2000 року, коли розпочалося зростання вантажооборотів на всіх видах транспорту.

Для порівняння зазначимо, що питомі швидкості росту автомобільного вантажообороту для країн ЄС (EU-27), яка розраховувалась за період з 2000 по 2006 роки за даними, опублікованими в [13], становила $r_1 = 0,043$ рік⁻¹, тобто швидкість зростання автомобільного вантажообороту за цей період була навіть меншою, ніж в Україні, а залізничний вантажооборот у 2000–2003 роках навіть зменшувався. Зазначимо також, що частка автомобільного вантажообороту у 2006 році в Європі становила 73 %, а залізничного – 13 %. В Україні спостерігається протилежна ситуація, що за думкою польських експертів є позитивним явищем, яке повинно зберегтись [8]. Проте модель показує тенденцію переважного розвитку в Україні автомобільного вантажообороту.

Можна бачити, що в Україні конкурентна спроможність автомобільного транспорту є вищою, ніж залізничного. Завдяки цьому у 2030 році вантажооборот залізничного транспорту досягне максимуму, після чого буде скорочуватись (рис. 6).

Згідно з моделлю перевезення вантажів залізницею навіть у віддаленій перспективі не припиняться, але досягнуть свого мінімального значення на рівні 45 млрд ткм.

Проте, знову зазначимо, що результати цього прогнозу не можна вважати незаперечними, оскільки вихідні дані відносяться до занадто короткого періоду стабільного розвитку незалежної України напередодні всесвітньої фінансово-економічної кризи.

Певний інтерес в рамках конкурентної моделі Лоткі-Вольтерра представляло моделювання розвитку ґрунтових доріг і доріг з твердим покриттям. На рис. 7 показано фактичні траєкторії розвитку (за даними) [5] і траєкторії, змодельовані на перспективу.

Якщо врахувати знайдені значення, то модель (10) набуває такого конкретного вигляду:

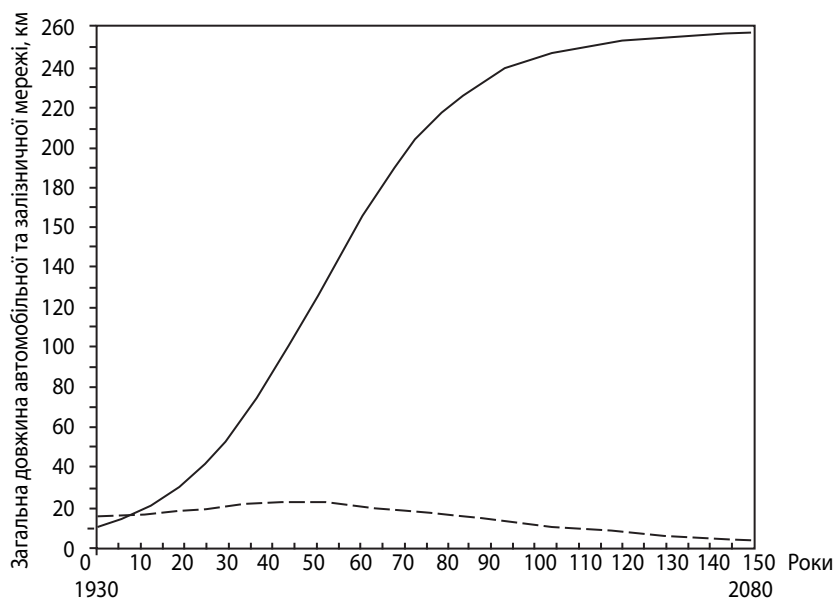


Рис. 4. Результати модельного прогнозування розвитку автомобільної і залізничної мереж

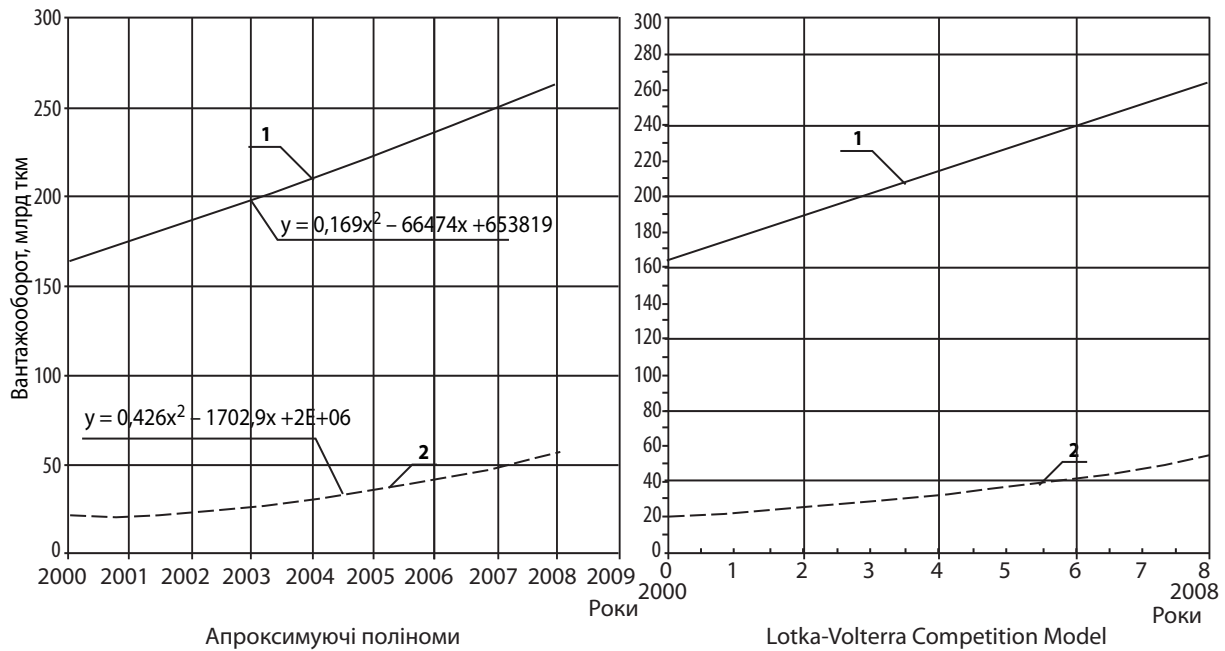


Рис. 5. Апроксимуючі тренди і модельні траєкторії вантажообороту залізничної (1) і автотранспортної (2) мереж

(Модельні траєкторії одержано за таких параметрів: $TG_{01} = 19,3$ млрд ткм, $TG_{02} = 163$ млрд ткм, $r_1 = 0,065$ рік⁻¹, $r_2 = 0,02$ рік⁻¹, $TG_{r1} = 800$ млрд ткм, $TG_{r2} = 600$ млрд ткм, $\alpha = 0,2$, $\beta = 0,7$)

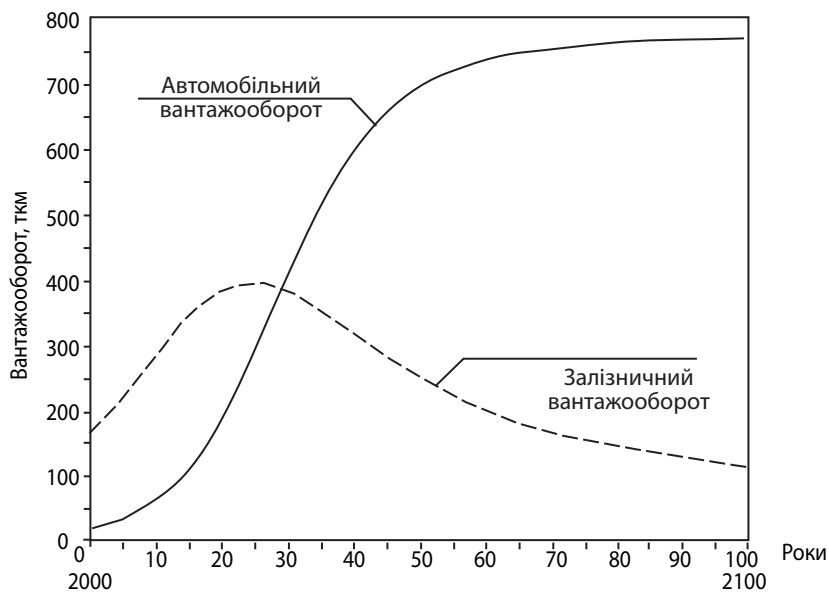


Рис. 6. Перспектива розвитку вантажообороту залізничного і автомобільного транспорту

$$\frac{dL_1}{dt} = \frac{0,0015L_1(250 - L_1)}{250} \quad (3)$$

$$\frac{dL_2}{dt} = \frac{0,1L_2(180 - L_2 - 60L_1)}{180}$$

В цій моделі ґрунтові дороги не чинять ніякої конкуренції дорогам з твердим покриттям, хоча в повоєнні роки цей вид доріг виявив життєздатність завдяки своїй дешевизні.

Коефіцієнти конкуренції α і β можна використовувати як інтегральні індикатори, які можуть показати перевагу розвитку одного конкурента перед другим, для того, щоб можна було прийняти відповідне рішення і оперативно втрутитись в процес будівництва, наприклад, доріг. Покажемо це на прикладі конкуренції між дорогами з цементно-бетонним та асфальтобетонним дорожнім покриттям (тип 1), з одного боку, і чорними гравійними та чорними шосе (тип 2), з другого боку (рис. 8) [5].

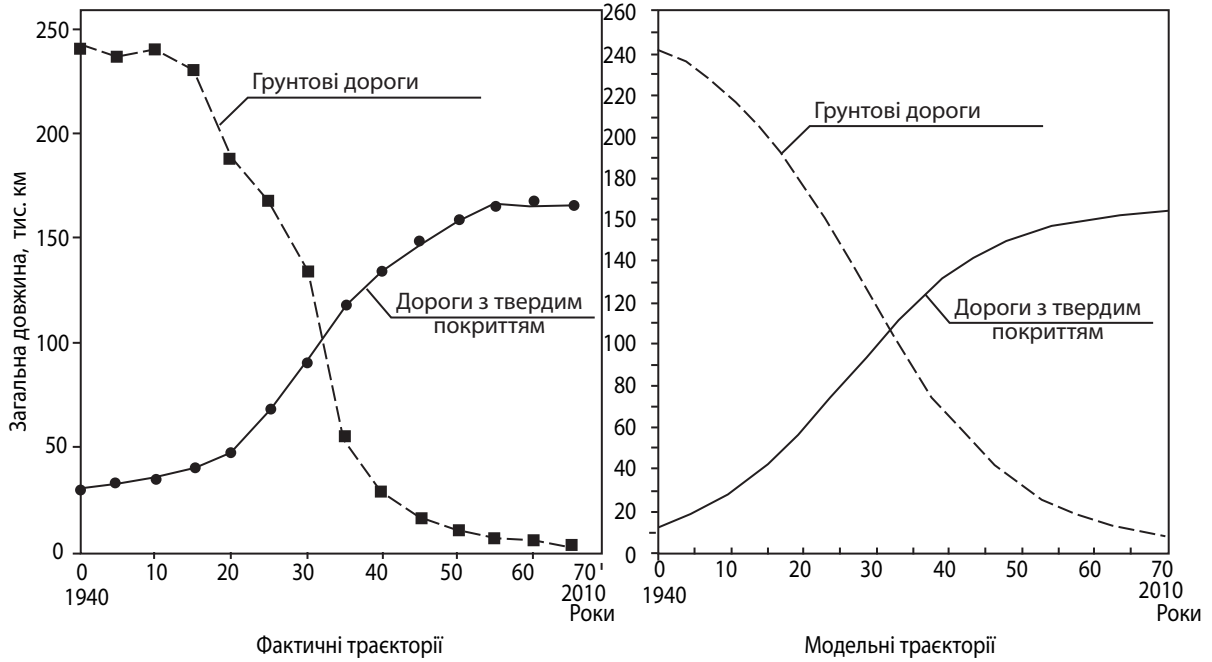


Рис. 7. Динаміка розвитку в Україні мереж ґрунтових доріг і доріг з твердим покриттям

(Модельні траєкторії одержано за таких параметрів: $L_{01} = 242$ тис. км, $L_{02} = 12$ тис. км, $r_1 = 0,0015$ рік⁻¹, $r_2 = 0,1$ рік⁻¹, $L_{f1} = 250$ тис. км, $L_{f2} = 165$ тис. км, $\alpha = 60$, $\beta = 0$)

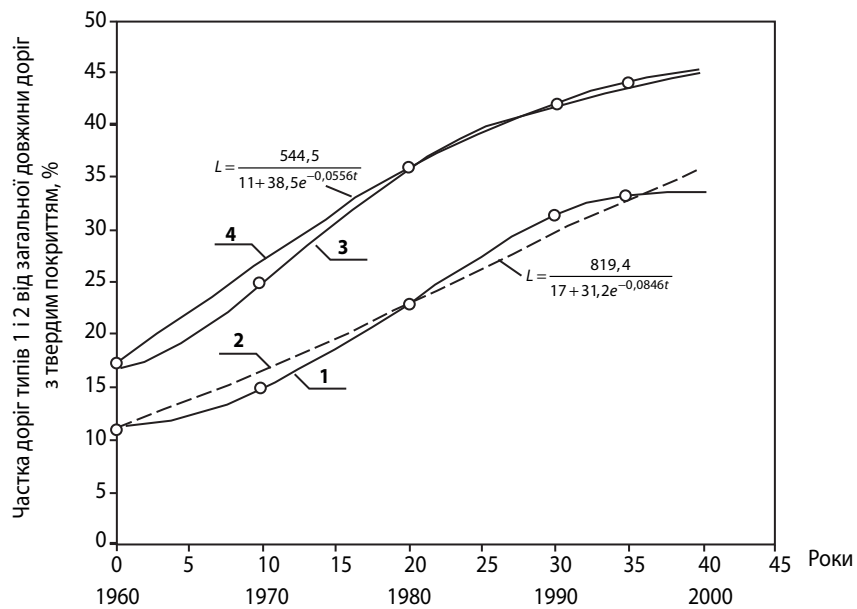


Рис. 8. Тренди впровадження доріг типу 1 (траєкторії 1 і 2) і типу 2 (траєкторії 3 і 4): 1, 3 – траєкторії апроксимуючих поліномів; 2, 4 – траєкторії логістичних кривих у безконкурентному режимі; маркерами позначено фактичні дані

Прийmemo, що траєкторії доріг обох типів описуються рівняннями логістичних кривих, при цьому $\alpha = \beta = 0$. Знайдемо ці рівняння.

Припустимо, що початкові значення L_0 відповідають фактичним даним, тобто $L_{01} = 11 \%$, $L_{02} = 17 \%$. Використовуючи релевантні точки на фактичних траєкторіях, наприклад, такі, що відповідають 1980 і 1995 рокам ($t = 20$ і 35 років відповідно), складаємо дві системи з двох рівнянь з двома невідомими:

Для доріг типу 1:

$$\begin{aligned} 23 &= \frac{11L_{f1}}{11 + (L_{f1} - 11)e^{-r_1 20}} \\ 33 &= \frac{11L_{f1}}{11 + (L_{f1} - 11)e^{-r_1 35}} \end{aligned}, \quad (4)$$

Для доріг типу 2:

$$\begin{aligned} 36 &= \frac{17L_{f2}}{17 + (L_{f2} - 17)e^{-r_2 20}} \\ 44 &= \frac{17L_{f2}}{17 + (L_{f2} - 17)e^{-r_2 35}} \end{aligned}, \quad (5)$$

Розв'язуючи системи, одержуємо: $L_{f1} = 49,5 \%$, $r_1 = 0,0556 \text{ рік}^{-1}$; $L_{f2} = 48,2 \%$, $r_2 = 0,0846 \text{ рік}^{-1}$, $L_{f1} + L_{f2} = 97,7 \%$ (тобто передбачалась практично повна заміна доріг старих типів на нові).

Аналізуючи траєкторії, які показано на рис. 8, можна зробити висновок, що, незважаючи на співпадіння логістичних кривих з фактичними даними в точках $t = 0, 20$ і 35 років, їхня загальна топологія суттєво відрізняється від топології апроксимуючих поліномів. Це свідчить про наявність конкурентних взаємовідносин.

Використовуючи пакет програм Populus 5.4 в частині Lotka-Volterra Competition, за вищеописаною методикою побудовано траєкторії розвитку доріг типів 1 і 2, які най-

більш наближені до апроксимуючих трендів за таких параметрів: $L_{01} = 11 \%$, $L_{02} = 17 \%$, $r_1 = 0,055 \text{ рік}^{-1}$, $r_2 = 0,07 \text{ рік}^{-1}$, $L_{f1} = 62\%$, $L_{f2} = 72 \%$, $\alpha = 0,13$, $\beta = 0,7$ (рис. 9).

Можна бачити, що сума L_{f1} і L_{f2} дорівнює 134 %. Оскільки вона не може бути більше 100 %, то можна зробити висновок, що під час будівництва виникла колізія між обмеженими фінансовими можливостями (на користь доріг типу 2) і необхідністю будівництва якісніших доріг (на користь доріг типу 1). Один з типів повинен був поступитись своєю частиною частки. Моделювання показало, що це була мережа типу 2.

На рис. 10 показано траєкторії розвитку обох мереж до рівноважного стану.

Можна бачити, що припинення будівництва доріг типу 2 та їх реконструкція згідно з моделлю повинна була початись вже у 2000 році і у 2200–2250 році частка доріг типу 1 повинна була становити 58 % від загальної протяжності доріг з твердим покриттям, а типу 2 – 32 %. Сумарна частка повинна була становити ~ 90%.

Було цікавим дослідити розвиток автострад у взаємодії з неявним асоційованим конкурентом. При цьому, асоційованим конкурентом мережі автострад можуть вважатись усі альтернативні види транспорту і фактори, які перешкоджали розвитку автомобільного транспорту (війни, фінансові можливості, реальна продуктивність праці будівництва, економічні кризи тощо).

На рис. 11 показано траєкторії розвитку мережі автострад і асоційованого конкурента. Траєкторія розвитку мережі автострад відповідає історичній, яку показано на графіку 1.

Траєкторії, які показано на графіку 2, одержано за таких умов: $L_{01} = 1$ тис. км, $L_{02} = 200$ тис. км, $r_1 = 0,11 \text{ рік}^{-1}$, $r_2 = 0,05 \text{ рік}^{-1}$, $L_{f1} = 170$ тис. км, $L_{f2} = 70$ тис. км, $\alpha = 0,7$, $\beta = 3,5$.

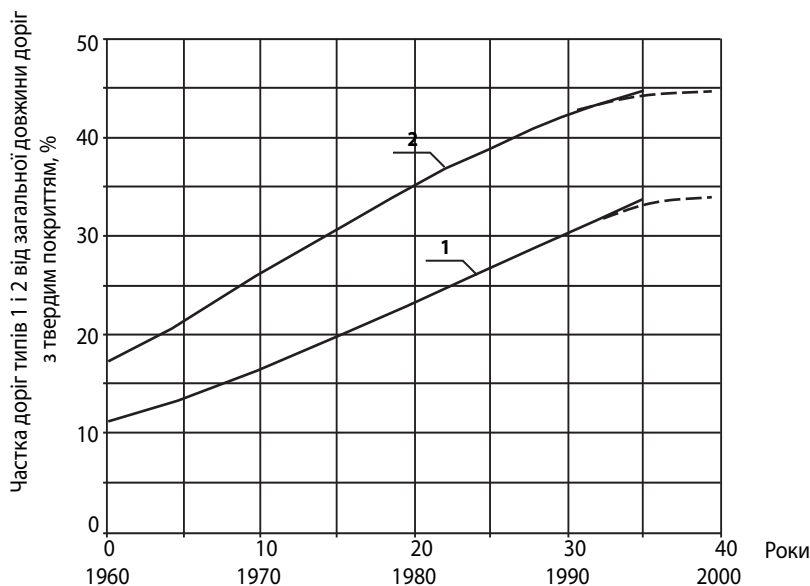


Рис. 9. Траєкторії розвитку доріг типу 1 (1) і типу 2 (2) в рамках конкурентної моделі Лоткі-Вольєрра (штриховими лініями показано тренди у період політико-економічних змін в Україні)

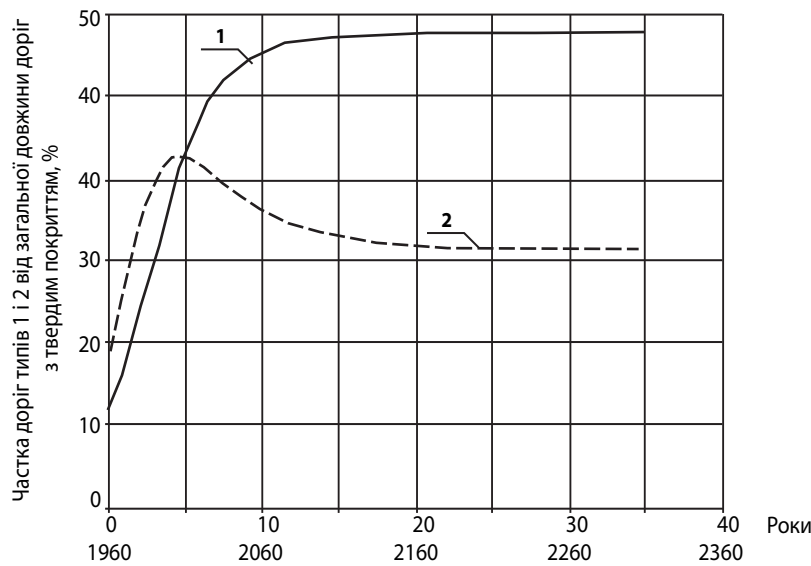


Рис. 10. Траєкторії розвитку доріг типу 1 (1) і типу 2 (2) в рамках конкурентної моделі Лоткі-Вольєрра до рівноважного стану

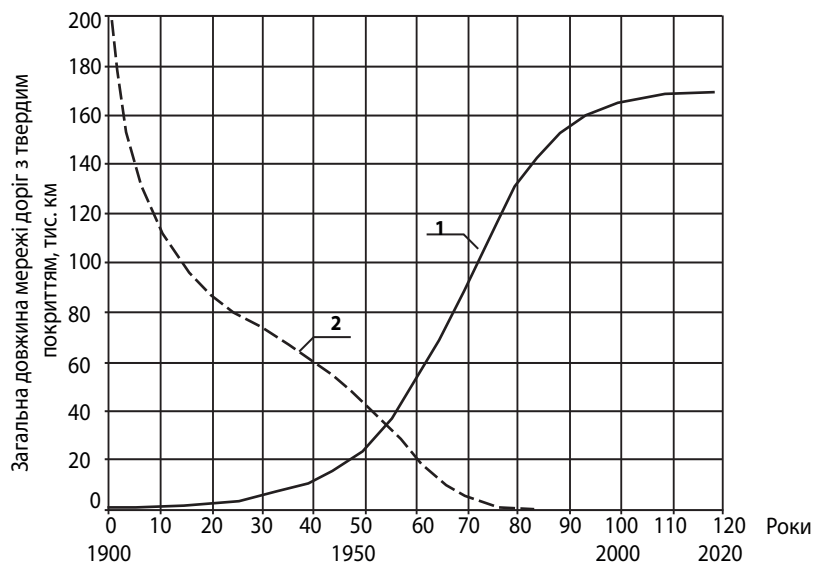


Рис. 11. Траєкторії розвитку мережі автострад (1) і асоційованого конкурента (2)

Можна бачити, що L_{f2} є близькою до величини L_{f1} , тобто від початку асоційований конкурент володів потенціалом, який поступово переходив до мережі автострад.

Незважаючи на те, що коефіцієнт β більше коефіцієнту α в 5 разів, асоційований конкурент чинив достатньо сильний опір, що можна бачити по величині $r_1 = 0,11 \text{ рік}^{-1}$, хоча реально він був на рівні $0,05\text{--}0,06 \text{ рік}^{-1}$. Однак його потенціал наблизився до нуля вже у 1980 році, хоча він міг відновитись і досягти рівня $L_{f2} = 70$ тис. км, якщо б знизилась конкурентна спроможність мережі автострад. Наприклад, за умови $\beta = 1,5$, картина траєкторій виглядала б так, як показано на рис. 12.

Підсумовуючи, можна зазначити наступне:

1. Незважаючи на деяку спрощеність конкурентної моделі Лоткі-Вольєрра, її можна з успіхом використовувати для орієнтовного і оціночного опису динамічних конкурентних взаємовідносин між економічними структурами, в тому числі конкуренції між транспортними мережами.
2. В результаті досліджень встановлено, що:
 - конкуренція між автомобільною і залізничною транспортною українськими мережами, хоча і має місце, але є невеликою, при цьому конкурентний вплив

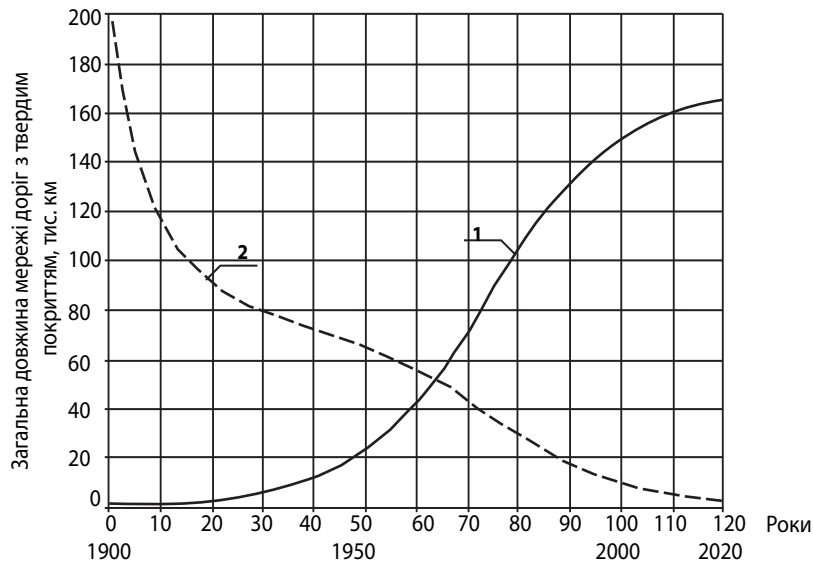


Рис. 12. Траєкторії розвитку мережі автострад (1) і асоційованого конкурента (2) за умови $\beta = 1$.

автомобільної мережі на залізничну становить $0,75$ (β), а залізничної на автомобільну – $0,3$ (α);

- конкурентна спроможність автомобільного транспорту за вантажооборотом є вищою, ніж залізничного ($\alpha = 0,2$, $\beta = 0,7$); завдяки цьому, згідно з моделлю, у 2030 році вантажооборот залізничного транспорту досягне максимуму, після чого буде скорочуватись;
- конкурентна спроможність мережі доріг з цементно-бетонним та асфальтобетонним дорожнім покриттям

є більшою, ніж мережа чорних гравійних доріг і чорних шосе ($\alpha = 0,13$, $\beta = 0,7$).

- конкурентна спроможність мережі автострад ($\beta = 3,5$) в 5 разів більша конкурентної спроможності асоційованого конкурента ($\alpha = 0,7$).
- В цілому конкурентні взаємовідносини між суб'єктами, що досліджувались, не є напруженими, хоча і суттєвими.

ЛІТЕРАТУРА

- Козик В. В. Застосування біофізичних моделей в практичній економіці: Монографія / Козик В. В., Сидоров Ю. І. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2011. – 178 с.
- Народне господарство Української РСР. Статистичний щорічник. – К.: Державне статистичне видавництво, 1957. – С. 376 – 379.
- Народне господарство Української РСР в 1962 році. Статистичний щорічник. – К.: Державне статистичне видавництво, 1963. – С. 385–389.
- Програмні продукти компанії Autodesk / Світличний О. О., Плотницький С. В. Основи геоінформатики. Програмні продукти компанії Autodesk [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://geonigi.com/book_view.php?id=634
- Розміщення продуктивних сил (теоретичні основи) : навч. посіб. / Ю. І. Стадницький, А. Г. Загородній. – К. : Знання, 2008. – 351 с.
- Транспортний комплекс України. Автомобільні дороги : проблеми та перспективи / І. Р. Юхновський, Г. Б. Лебеда, Т. І. Попова; [Міжвід. аналіт.-консультат. рада з питань розв. продукт. сил і виробн. Відносин]. – К. : ФАДА, ЛТД, 2004. – 177 с.
- Транспортна стратегія України на період до 2020 року. Міністерство транспорту та зв'язку України розробило Транспорт-

REFERENCES

- “Braess's paradox” en.wikipedia.org/wiki/Braess%27_paradox.
- Chan, R., Jepson, W., and Friedman, S. “Urban Simulation: An Innovative Tool for Interactive Planning and Consensus Building” <http://www.asu.edu/caed/proceedings98/Chan/chan.html>.
- Kozyk, V. V., and Sydorov, Yu. I. Zastosuvannia biofizychnykh modelei v praktychnii ekonomitsi [Application of biophysical models in practical economics]. Lviv: NU «Lvivska politekhnik», 2011.
- Maxwell, T., and Costanza, R. “An open geographic modeling environment” *Simulation* vol. 68 (1997): 175-185.
- Narodne hospodarstvo Ukrainskoi RSR v 1962 rotsi. Statystychnyi shchorichnyk [The economy of the Ukrainian SSR in 1962. Statistical Yearbook]. Kyiv: Derzhavne statystychnye vydavnytstvo, 1963.
- Narodne hospodarstvo Ukrainskoi RSR. Statystychnyi shchorichnyk [The economy of the Ukrainian SSR. Statistical Yearbook]. Kyiv: Derzhavne statystychnye vydavnytstvo, 1957.
- Richard, R. Nelson, and Sidney, G. Winter *An Evolutionary Theory of Economic Change* London: The Belknap Press of Harvard University Press, 1982.
- Stadnytskyi, Yu. I., and Zahorodnii, A. H. Rozmishchennia produktyvnykh syl (teoretychni osnovy) [Placement of the productive forces (theoretical foundations)]. Kyiv: Znannia, 2008.

- ну стратегію України до 2020 року. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.mintrans.gov.ua/uk/.html>
8. Трушин А. Как дороги дороги / А. Трушин // Прямые инвестиции. – 2005. – № 9 (41). – С. 20–24.
 9. Braess's paradox [Електронний ресурс]. – Режим доступу: en.wikipedia.org/wiki/Braess%27_paradox
 10. Maxwell T., Costanza R. An open geographic modeling environment // *Simulation*. – 1997. – V. 68. – P. 175–185.
 11. R. Chan, W. Jepson, S. Friedman, *Urban Simulation: An Innovative Tool for Interactive Planning and Consensus Building, 1998* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.asu.edu/caed/proceedings98/Chan/chan.html>
 12. Richard R. Nelson and Sidney G. Winter. *An Evolutionary Theory of Economic Change*. – London : The Belknap Press of Harvard University Press, 1982; Нельсон Р., Уинтер С. Эволюционная теория экономических изменений: Пер. с англ. – М.: Дело, 2002. – 487 с.
 13. Salvini P., Miller E. J. ILUTE: An Operational Prototype of a Comprehensive Microsimulation Model of Urban Systems // 10th International Conference on Travel Behaviour Research. Lucerne, 10-15. August 2003 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.ivt.ethz.ch/news/archive/20030810_IATBR/salvini.pdf
 14. Waddell P. A Behavioral simulation model for metropolitan policy analysis and planning: residential location and housing market components of UrbanSim // *Environment and Planning B: Planning and Design*. – 2000. – V. 27, No 2. – P. 247–263.
 15. Waddell P., Bhat C., Eluru N., Wang L., Pendyala R. Modeling the Interdependence in Household Residence and Workplace Choices // *Transportation Research Record*. – 2007. – V. 2003. – P. 84–92.
- Svitlychnyi, O. O., and Plotnytskyi, S. V. "Prohramni produkty kompanii Autodesk" [Software company Autodesk]. http://geoknigi.com/book_view.php?id=634.
- Salvini, R., and Miller, E. J. "ILUTE: An Operational Prototype of a Comprehensive Microsimulation Model of Urban Systems" www.ivt.ethz.ch/news/archive/20030810_IATBR/salvini.pdf.
- "Transportna stratehiiia Ukrainy na period do 2020 roku. Ministerstvo transportu ta zviazku Ukrainy rozroblylo Transportnu stratehiiu Ukrainy do 2020 roku" [Transport Strategy of Ukraine till 2020. Ministry of Transport and Communications of Ukraine has developed a Transport Strategy of Ukraine till 2020]. <http://www.mintrans.gov.ua/uk/.html>.
- Trushin, A. "Kak dorogi dorogi" [How costly road]. *Priamyie investitsii*, no. 9(41) (2005): 20–24.
- Waddell, P. "A Behavioral simulation model for metropolitan policy analysis and planning: residential location and housing market components of UrbanSim" *Environment and Planning B: Planning and Design* vol. 27, no. 2 (2000): 247–263.
- Waddell, P., Bhat, C., and Eluru, N. "Modeling the Interdependence in Household Residence and Workplace Choices" *Transportation Research Record* (2007): 84–92.
- Yukhnovskyi, I. R., Lebeda, H. B., and Popova, T. I. *Transportnyi kompleks Ukrainy. Avtomobilni dorohy : problemy ta perspektyvy* [The transport complex of Ukraine. Highways: Challenges and Prospects]. Kyiv: FADA, LTD, 2004.