

*Робота присвячена проблемі прогнозування еволюції компонентів транспортних систем. Рішення проблеми базується на моделюванні еволюції системи „людина – автомобіль – середовище”*

*Ключові слова: транспортні системи, еволюція, компоненти транспортних систем, планування*

*Работа посвящена проблеме прогнозирования эволюции компонентов транспортных систем. Решение проблемы базируется на моделировании эволюции системы «человек – автомобиль – среда»*

*Ключевые слова: транспортные системы, эволюция, компоненты транспортных систем, планирование*

*The given work is devoted to the problem of the transport systems components forecasting. The problem solution is based on “man – automobile – environment” system evolution modeling*

*Key words: transport systems, evolution, transport systems components, planning*

# МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕВОЛЮЦІЇ КОМПОНЕНТІВ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ «ЛЮДИНА – АВТОМОБІЛЬ – СЕРЕДОВИЩЕ»

**Є. В. Нагорний**

Доктор технічних наук, професор, завідуючий кафедрою\*

**А. В. Потапенко**

Асистент\*

\*Кафедра транспортних технологій  
Харківський національний автомобільно-дорожний  
університет  
вул. Петровського, 25, м. Харків, Україна, 61002

## 1. Вступ

Перехід до ринкових відносин і поява конкуренції в транспортній галузі привели до значного ускладнення завдань управління розвитком транспортних систем. Кожне завдання організації, управління і планування, як правило, має не тільки велику кількість варіантів рішень, з яких повинен бути вибраний найкращий, але і вимагає обліку впливу факторів, що значно порушують умови стабільного розвитку транспортних систем.

В цих умовах традиційні підходи до управління розвитком транспортних систем, що не враховують змінність компонентів системи, втратили актуальність. Якісні зміни в транспортній галузі призвели до того, що управління, планування і прогнозування розвитку вимагають наукової основи і повинні будуватися на синергетичному та комплексному підходах, що забезпечує рішення питань в їх єдності і взаємозв'язку.

Робота присвячена проблемі прогнозування еволюції компонентів транспортних систем. Рішення проблеми базується на моделюванні еволюції підсистеми „людина – автомобіль – середовище” з урахуванням змінності компонентів. Це дозволить розробити універсальну методологію управління розвитком транспортних систем з урахуванням пріоритетних напрямів розвитку. Застосування універсального підходу до управління розвитком транспортних систем з урахуванням змінності компонентів системи та жорсткості зв'язку між ними дозволить розробити математичну

прогнозу модель. В результаті моделювання будуть отримані прогнозні значення компонентів системи.

## 2. Аналіз публікацій

В практиці планування розвитку транспортних систем поширені нормативні, статистико-екстраполяційні та методи економіко-математичного моделювання [1].

Порівняльний аналіз методів планування та управління розвитком транспортних систем [1-7] дозволив зробити висновки, що для вирішення проблеми удосконалення методів управління розвитком транспортних систем доцільно застосовувати метод еволюційно-імовірнісного моделювання. Згідно з цим методом треба моделювати не функціонування транспортної системи, а її еволюцію. Це дозволить врахувати змінність компонентів системи та жорсткості зв'язку між ними при розробці математичної прогнозної моделі.

У відповідності з методом еволюційно-імовірнісного моделювання буде сформована імовірнісна прогнозна модель еволюції транспортної системи та її компонентів на прикладі підсистеми „людина – автомобіль – середовище” (ЛАС). Для цього треба моделювати не функціонування даної системи, а її еволюцію.

Отримані прогнозні значення дадуть можливість обирати відповідну стратегію подальшого розвитку, вчасно приймати управлінські рішення, забезпечити проведення необхідних організаційно-адміністратив-

них заходів щодо поліпшення технологічних, екологічних, соціальних та ергономічних характеристик.

**3. Математична модель прогнозування еволюції транспортної системи з урахуванням змінності компонентів на прикладі підсистеми ЛАС**

Оскільки кожен компонент системи прагне врівноважитися з середовищем, то абсолютна організація цього середовища виступає в ролі своєрідної норми, до якої прагне компонент.

Тут і далі під нормою розуміється оптимальна абсолютна організація в найбільшому ступені відповідності цілям і задачам функціонування системи.

Динаміка норми абсолютної організації описується рівнянням [8], згідно з яким норма і-го компонента поводить себе подібно до інерційної стежачої системи: „відстежує” дійсне значення змінної. Тому, якщо перехід із стану  $Q_i(0)$  в стан  $Q_{ni}$  продовжується достатньо довго, то можна прийняти:

$$Q_{ni} = \frac{\sum_j \gamma_j^{(i)} Q_j^{(i)}}{\sum_j \gamma_j^{(i)}} \tag{1}$$

де  $Q_j^{(i)}$  - абсолютна організація j-го компонента середовища для і-го компонента системи;

$\gamma_j^{(i)}$  - жорсткість норми j-го компонента середовища для і-го компонента системи.

З урахуванням вищевикладеного після розкладання в ряди Маклорена приростів абсолютної організації та подальшої лінеаризації рівняння динамічної рівноваги компонентів системи ЛАС представляються у вигляді:

$$\begin{aligned} C_q \frac{d\Delta P_q}{dt} - \left( \left( \frac{\partial Q_{cp,q}}{\partial P_a} \Delta P_a + \frac{\partial Q_{cp,q}}{\partial P_d} \Delta P_d \right) - \frac{\partial Q_q}{\partial P_q} \Delta P_q \right) &= \frac{\partial Q_{cp,q}}{\partial P_c} \Delta P_c, \\ C_a \frac{d\Delta P_a}{dt} - \left( \left( \frac{\partial Q_{cp,a}}{\partial P_q} \Delta P_q + \frac{\partial Q_{cp,a}}{\partial P_d} \Delta P_d \right) - \frac{\partial Q_a}{\partial P_a} \Delta P_a \right) &= \frac{\partial Q_{cp,a}}{\partial P_c} \Delta P_c, \\ C_d \frac{d\Delta P_d}{dt} - \left( \left( \frac{\partial Q_{cp,d}}{\partial P_q} \Delta P_q + \frac{\partial Q_{cp,d}}{\partial P_a} \Delta P_a \right) - \frac{\partial Q_d}{\partial P_d} \Delta P_d \right) &= \frac{\partial Q_{cp,d}}{\partial P_c} \Delta P_c, \end{aligned} \tag{2}$$

де  $C_q, C_a, C_d$  - організаційна ємкість людини, автомобіля та дороги;

$Q_q, Q_a, Q_d$  - абсолютні організації людини, автомобіля та дороги;

$Q_{cp,q}, Q_{cp,a}, Q_{cp,d}$  - абсолютні організації зовнішнього середовища для людини, автомобіля та дороги;

$\Delta P_q, \Delta P_a, \Delta P_d, \Delta P_c$  - приріст функції переходу людини, автомобіля, дороги та середовища з фактичного в заданий стан (стан норми).

Оскільки протягом часу в середовищі відбуваються соціальні, економічні, політичні, екологічні зміни можна вважати, що  $\Delta P_c \neq const$ .

Приватне рішення системи рівнянь (2) буде записано у вигляді:

$$\begin{aligned} \Delta P_q &= C_0(e^{\lambda t} - e^{\lambda t_3}) + e^{\alpha t} (C_1 \cos \beta t + C_2 \sin \beta t) - \\ &- e^{\alpha t_3} (C_1 \cos \beta t_3 + C_2 \sin \beta t_3) + (1 - P_{qo}) \tag{3} \\ \Delta P_a &= M_0 C_0 e^{\lambda t} - C_1 e^{\alpha t} (M_1 \cos \beta t + M_2 \sin \beta t) + \\ &+ C_2 e^{\alpha t} (M_2 \cos \beta t + M_1 \sin \beta t) - \\ &- M_0 C_0 e^{\lambda t_3} - C_1 e^{\alpha t_3} (M_1 \cos \beta t_3 + M_2 \sin \beta t_3) - \\ &- C_2 e^{\alpha t_3} (M_2 \cos \beta t_3 + M_1 \sin \beta t_3) + (1 - P_{ao}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_d &= N_0 C_0 e^{\lambda t} - C_1 e^{\alpha t} (N_1 \cos \beta t + N_2 \sin \beta t) + \\ &+ C_2 e^{\alpha t} (-N_2 \cos \beta t + N_1 \sin \beta t) - \\ &- N_0 C_0 e^{\lambda t_3} - C_1 e^{\alpha t_3} (N_1 \cos \beta t_3 + N_2 \sin \beta t_3) - \\ &- C_2 e^{\alpha t_3} (-N_2 \cos \beta t_3 + N_1 \sin \beta t_3) + (1 - P_{do}) \end{aligned}$$

де  $C_0, C_1, C_2$  - довільні постійні, що залежать від початкових умов;

$P_{qo}, P_{ao}, P_{do}$  - початкові вірогідності переходів людини, автомобіля та дороги з фактичного в нормальний стан;

$\lambda$  - корінь характеристичного рівняння;

$\alpha$  - дійсна частина комплексно-зв'язаних коренів;

$\beta$  - кругова частина коливань;

$t_3$  - період замкнутого стану системи;

Позначимо

$$M_0 = \frac{1}{k_a^{(1)} m_2 - k_d^{(1)} m_1} (k_d^{(1)} \lambda^2 + m_2 \lambda + (m_2 - k_d^{(1)} m_0)) ;$$

$$M_1 = \frac{1}{k_a^{(1)} m_2 - k_d^{(1)} m_1} (k_d^{(1)} (\alpha^2 - \beta^2) + m_2 \alpha + (m_2 - k_d^{(1)} m_0)) ;$$

$$M_2 = \frac{1}{k_a^{(1)} m_2 - k_d^{(1)} m_1} (2k_d^{(1)} \alpha \beta^2 + m_2 \beta) ;$$

$$N_0 = \frac{1}{k_a^{(1)} m_2 - k_d^{(1)} m_1} ((k_a^{(1)} m_0 - m_1) - m_1 \lambda - k_a^{(1)} \lambda^2) ;$$

$$N_1 = \frac{1}{k_a^{(1)} m_2 - k_d^{(1)} m_1} ((k_a^{(1)} m_0 - m_1) - m_1 \alpha - k_a^{(1)} (\alpha^2 \beta^2)) ;$$

$$N_2 = \frac{1}{k_a^{(1)} m_2 - k_d^{(1)} m_1} (2k_a^{(1)} \alpha \beta + m_1 \beta) ;$$

де  $k_q, k_a, k_d, k_c$  - коефіцієнти ваги людини, автомобіля, дороги та середовища.

Позначимо

$$m_0 = 1 + k_a^{(1)} k_q^{(2)} + k_d^{(1)} k_c^{(3)} ; m_1 = 2k_a^{(1)} - k_d^{(1)} k_a^{(3)} ;$$

$$m_2 = 2k_d^{(1)} - k_d^{(1)} k_a^{(1)} ; k_a^{(1)} + k_d^{(1)} + k_c^{(1)} = 1 ;$$

$$k_q^{(2)} + k_d^{(2)} k_c^{(2)} = 1 ; k_q^{(3)} + k_a^{(3)} + k_c^{(3)} = 1 ;$$

Аналогічні моделі можуть бути отримані для кожного компонента системи.

**4. Висновки**

Вирішення проблеми управління розвитком транспортних систем можливе шляхом розгляду розвитку підсистеми „людина – автомобіль – середовище” (ЛАС) та її компонентів. Для цього треба моделювати не функціонування даної системи, а її еволюцію. Тому пропонується розглядати модель еволюції підсистеми ЛАС з урахуванням змінності параметрів її компонентів.

Напрямок подальших досліджень:

- 1) Розробити математичну модель взаємодії системи з середовищем споживання;
- 2) Розробити методи оцінки жорсткості норм абсолютної організації транспортної системи;
- 3) Розробити критерії ефективності управління транспортними процесами;
- 4) Урахувати соціально-економічні умови в розвитку системи.

Література

1. Цирель С.В. Предвидение и прогноз // Математика: – М.: Наука. – 2007. – 145 с.
2. Гордон Т.Н. Новый подход к методу Дельфи // Научно-техническое прогнозирование для промышленности и правительственных учреждений.-Москва: Прогресс, 2002.- С. 84-93.
3. Гневашева В.А. Прогнозування економіки: поняття і історія // Знання. –2005. – С. 141-144.
4. Антомонов Ю.Г., Красникова Л.И., Чораян О.Г. Методы математической биологии. Книга 5. «Информационные

- методы синтеза моделей биологических систем». – Киев: Вища школа, 2002. – 240 с.
5. Mc Zeod Douglas S. State modal system plans as technical issue documents - a new role // Transportation Research Record, № 1206, 2004.- P. 17-23.
6. Рахмангулов А.Н., Трофимов С.В., Корнилов С.Н. Управление транспортными системами. Теоретические основы: Учеб. пособие. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2001. – С. 152-180.
7. Орлов А. И. Теория принятия решений. – М.: Экзамен, 2006. – 576 с.
8. Голицын Г.А. Динамическая теория поведения./В кн.: Механизмы и принципы целенаправленного поведения.- Москва: Наука, 1972. С. 5-33.

*Розроблено метод практичного розрахунку швидкості та концентрації елементів у кожній точці простору в кожен момент часу як розв’язання рівнянь механіки у спеціально вибраній системі координат. Шляхом послідовного застосування спеціально доведених теорем обґрунтовані можливість та методика побудови спеціальних систем координат*

*Ключові слова: адаптована математична модель, об’ємно-розподілений об’єкт*

*Разработан метод практического расчета скорости и концентрации элементов в каждой точке пространства в заданный момент времени, основанный на решении уравнений механики, сформированных в специально выбранной системе координат. Путем последовательного использования специально доказанных теорем обоснована возможность и методика построения специальных систем координат*

*Ключевые слова: адаптированная математическая модель, объемно-распределенный объект*

*It develops the method of the elements speed and concentration practical calculation in every point of space in every moment of time as mechanics equations solution in the specific coordinate system. The specific coordinate systems building techniques and their possibility are substantiated by the sequential application way of the specifically proved theorems*

*Key words: decomposed mathematical model, body-distributed entity*

УДК 004.942

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЗАСОРЕНИЯ ОКОЛОЗЕМНЫХ ОРБИТ

**И. А. Пилькевич**

Доктор технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой

Кафедра мониторинга окружающей природной среды  
Житомирский национальный агроэкологический  
университет

Контактный тел. (0412) 41-56 86

1. Введение

Все возрастающая активность Человечества в космосе привела к образованию на околоземных орбитах

большого количества так называемого „космического мусора”, представляющего собой различные объекты искусственного происхождения и их фрагменты, которые были некогда запущены в космос, а к настоящему