

УДК 621.396.98

С.М. Васько

Національний транспортний університет, Київ

## СИМВОЛЬНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ НА МЕЖІ ЛЮДИНО-МАШИННОГО ІНТЕРФЕЙСУ СИСТЕМ НАВІГАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ РУХОМ ВИСОКОШВИДКІСНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

*Розроблена методика застосування символічних Р-перетворень для розв'язування практичних задач управління рухом транспортних засобів ІТЗ в складних умовах впливу середовища. Методика в символічній формі автоматизована. Вона дозволяє інтегрувати знання оперативних ситуацій і адекватних їм моделей, розрахункових методів для конкретної задачі, умов і діапазонів дії факторів оточуючого середовища на базі часових рядів.*

**Ключові слова:** диференціально-тейлоровські перетворення, управління ВТЗ, безпека руху, методика моделювання, оцінки, ефективність.

### Вступ

Управління рухом високошвидкісного транспортного засобу (ВТЗ) реалізується в єдиній ергатичній для розв'язків задач системи (ЕРС) з різноманітними засобами людино-машинного інтерфейсу (НМІ). Особа, що приймає рішення (ОПР) працює з засобами підтримки прийняття рішення (ЗППР) [1]. Інтелектуальний сервіс між інтелектуальним агентом системи (ІАС) працює в складних умовах. Природно-соціальне оточуюче середовище суттєво впливає на динаміку управління ВТЗ. Зміни в процесі руху та маневрування ВТЗ вельми суттєві. Реальне підвищення безпеки плавання в складних умовах вимагають консолідації зусиль багатьох ІАС з їх ресурсами. Особлива увага приділяється паралельному розв'язуванню ряду взаємопов'язаних задач з координацією точності головних ключових параметрів складної динамічної системи (СДС). [3 – 5].

**Сучасний стан досліджень.** Варіювання факторів оточуючого середовища може наблизити дії оператора до області катастроф. Тому ведучим технологічним контуром є ергатична система безпеки плавання з високим рівнем інтелектуалізації операторів та спецзасобами гарантування функціональної стійкості при значних збуреннях та відмовах обладнання. Певна надлишковість телекомунікаційних мереж зв'язку між операторами СДС створює умови гарантоздатності підтримання рівня функціональної стійкості ІАС в різних екстремальних ситуаціях, що закінчуються без катастрофічних зіткнень різного роду. Дана властивість обумовлена своєчасним перерозподілом функцій між ІАС та роботами-автоматами, деякі з яких на конкретний інтервал часу частково втратили працездатність. [2, 6].

**Мета роботи.** Розробка методики комплексного (гібридного символічно-чисельного) моделювання процесами СДС СНУР ВТЗ під час екстремальних

(позаштатних, випадкових, загрозованих) умовах у зоні підвищеного ризику подій (ЗПРП), які наближають та прискорюють тенденцію влучання у аварію.

**Постановка задачі.** Цільове зниження навігаційної аварійності в зонах підвищеного ризику плавання забезпечується додатковою інформаційною технологією моделювання та прогнозу ситуацій з ділянками руху в зоні управління ВТЗ, де активна роль операторів ВТЗ.

Цілісна ситуація навколо ВТЗ, що розглядається, аналізується за критеріями безпеки та наближеності загроз його руху. В залежності від виявлених умов, розв'язується задачі попередження зіткнень та маневрування.

### Основний матеріал

Режим безперервної корекції курсу та швидкості ВТЗ виконується на основі багатокритеріальної оптимізації. Для обчислення кожного окремого критерію часто необхідно знати особливості перехідних режимів роботи компонент СДС. При цьому враховується критерій підвищення рівня безпеки керування ВТЗ в даних поточних обмеженнях. Оперативна корекція кожного шагу зі зміною курсу та вектору швидкості реалізується з врахуванням термінальних та граничних умов плавання в поточному локальному районі заданої зони. Гарантоване адаптивне керування потребує багатоконтурної та багатопозиційної технології обміну повідомленнями між ІАС. Сучасні інженерні розробки, пов'язані з оперативним розв'язуванням задач навігації та управління ВТЗ. Для математичного описання зазначених задач застосовуються спеціальні лінгвістичні інтерфейси. У відомих програмних продуктах для проведення аналізу систем динамічних нелінійних процесів вхідна задача описується вхідною мовою програм. До такого програмного забезпечення відносяться пакети систем комп'ютер-

ної математики такі як Maple, Mathematica, MatCAD та інші. Моделювання широко застосовується на всіх етапах життєвого циклу кожного з об'єктів транспортної системи. Символьні моделі використовуються для описання, навчання, комунікації, створення нових більш складних моделей. Концептуальні, семантичні, структурні, лінгвістичні особливості перетворення інформації забезпечують виконання кожного етапу загального розв'язку складних задач. Основна формалізація що ґрунтується на інтегродиференціальних рівняннях забезпечує ефективне системно-аналогове моделювання СДС.

Алгебраїчних аналогових моделей компонентів, вузлів, елементів реальних структур достатньо для цілісної СДС, тому що їх символічне описання відображає ту ж саму функцію певної частини об'єкта моделювання. Внутрішні та зовнішні зв'язки в цілісній системі (підсистемі, мікросистемі) виражаються у виді єдиної структурної моделі

$$M(R) = (G, \Omega, R), \quad (1)$$

де  $G$  - множина елементів, що утворюють модель;  $\Omega$  - область подібних перетворень;  $R = (\sum \rho)$  - набір правил, які встановлюють взаємовідношення зв'язків  $\rho$  в  $\sum$  структурі типів зв'язків між блочними моделями.

Бібліотека типових елементарних моделей складається з різних класів функціональних перетворювачів. Генератори функцій або задаючих параметрів обчислюють відповідні значення в залежності від конкретного аналітичного закону  $F(t, C)$ , де  $t$  - параметр, що виконує розгортку з необхідним заданим кроком,  $C$  - набір заданих констант.

В загальному вигляді одноходові та одновихідні функціональні перетворення мають вигляд

$$y = \psi(x, C). \quad (2)$$

Функціональні перетворення можуть бути з диференціальними членами, інтегральними або гібридні - інтегро-диференційні. Чисто статичні алгебраїчні співвідношення на комп'ютерах реалізуються через системи лінійних або нелінійних алгебраїчних співвідношень.

В цілому комплексна модель визначається графами зв'язку між окремими моделями на кожному горизонтальному рівні та одночасно між вертикальними стратами типу багатозв'язних нейромерж.

З метою підвищення ефективності пакетів систем комп'ютерної математики, таких як Maple, Mathematica, MatCAD та інших, запропоновані інформаційні технології білінійного діалогу. Двосторонні перетворення, які встановлюють тотожні зв'язки між областю оригіналу та областю зображень представлені у вигляді символічних таблиць. Кожна таблиця має єдину структуру тематичних перетворень  $U_i \rightarrow V_i$  або  $V_i \rightarrow U_i$ . Номер таблиці визначається за кодом ієрархічної декомпозиції пере-

ходу від абстрактних символів до заданої знакової моделі. Ці знакові моделі виражаються в кодї математичних пакетів для реалізації методу, що заснований на спеціальному алгоритмі для розв'язування заданого класу задач у відповідності технологією Р-перетворень (диференціально-тейлоровських). Приклади фрагментів бази знань з конкретними записами в таблицях символічних моделей представлені в роботах.

Кожна конкретна СДС має ієрархічну організацію. Розкладання СДС чітко визначає підсистеми, модулі і стандартні блоки. Структурування у кожному ієрархічному ранзі включає конкретні зв'язки на горизонтальному рівні. Зв'язки між різними рівнями чітко описують вертикальні структури матриць або еквівалентних графів.

У процесі діалогу, інтерфейс системи забезпечує підтримку зв'язків між засобами розв'язування задач: мова описання, символічні взаємозв'язки, методологія структурування, алгоритмічні особливості, програмний інтерфейс обміну повідомленнями в обох напрямках. Для всіх вхідних лінгвістик прийняті загальні правила та знаки. Словник може бути розділений на директиви для управління та пояснення оператору СДС. Методологія розв'язування практичних задач ґрунтується на Р-перетвореннях, розроблених академіком Г.Є. Пуховим. Гнучкість символічних перетворень дозволяє спростити еквівалентні перетворення у різних областях (оригіналу чи зображень) розв'язку задач.

Для демонстрації методу розглянемо алгоритм розв'язування нелінійного рівняння типу Емден-Фовлера. Рух твердого тіла в площині  $XOY$  за законами Ньютона можна записати у вигляді диференційного рівняння 2-го порядку

$$y'' + \frac{C_1}{x} y' + C_2 (e^y + C_3 \cdot y^{1/2}) = 0, \quad (3)$$

з початковими умовами

$$y(0) = 0, v'(0) = 0, C_1 = 5, C_2 = 8, C_3 = 2. \quad (4)$$

Аналітичний розв'язок рівняння (3) має вигляд

$$y(x) = -2 \ln(1 + x^2). \quad (5)$$

В даній моделі маємо випадок генератора функції  $y = \Psi(x, y'', y', C)$ , коли по вісі абсцис в розрахунковому інтервалі змінюється параметр  $x = [x_{\min}, x_{\max}]$ . Вихідна змінна у підпорядковується аналітичному закону, котрий є результатом розв'язування задачі (3) з конкретними початковими умовами (4) у відповідності з фізикою процесів в СДС. Символічний зв'язок між аргументом  $x$  та функцією  $y$  залежить не тільки від коефіцієнтів в рівнянні (3), а також від початкових умов взаємозв'язку з іншими підсистемами СДС. Пошук розв'язку даної нелінійної задачі потребує інтелектуальних ресурсів. Використовуючи базові власти-

вості перетворень та програмне забезпечення Maple 17 можна розв'язати рівняння (3). За допомогою запропонованого методу можна отримати наближений розв'язок будь-якого порядку. Результати демонструють надійність та ефективність розробленого алгоритму для пакету Maple 17.

Функція бокового опору в балансі сил (3) може бути виражена

$$NF := 8 \left( \exp(y(x)) + 2 \cdot \exp\left(\frac{y(x)}{2}\right) \right).$$

Припустимо, що в дискретному просторі достатньо точний розв'язок дає спектр з 8-ми дискрет. Враховуємо конкретні значення  $C_i$  (4) для коефіцієнтів.

```
k := 8;
Y[x] := sum(Y[b] · xb, b = 0..k);
NF[x] := subs(y(x) = Y[x], NF);
s := expand(NF[x], x);
dt := unapply(s, x).
```

Початкові умови в області дискретного простору відповідно виражаються чисельно

$$Y[0] := 1 : Y[1] := 0.$$

Перехід в область зображень з дискретним аргументом і дозволяє отримати наступна ітераційна процедура

```
for i from 0 to k do
N[i] := ((D@@i)(dt)(0)) / i!;
f[i] := sum( (i-1+2)! / (i-1)! · Y[i-1+2] · ( { 1 1-1=0 } + { 0 1-1≠0 } )
```

$$+ 5 \cdot \frac{(i+1)!}{i!} \sum_{l=0}^1 N[i+1] \cdot \left( \begin{matrix} 1 & 1-1=0 \\ 0 & 1-1 \neq 0 \end{matrix} \right);$$

$$Y[i+1] := \text{solve}(F[i], Y[i+1])$$

od:

Програма Maple 17 дозволяє отримати аналітичний розв'язок задачі (3) у вигляді полінома

$$y := \text{sum}(Y[n] \cdot x^2, n = 0..k);$$

$$y := -2x^2 + x^4 - \frac{2}{3}x^6 + \frac{1}{2}x^8. \quad (6)$$

Розв'язування задачі

$$P(x) = -1, Q(x) = a, R(x) = \frac{2}{x^2},$$

другого тесту

$$\frac{dy}{dx} = -y^2 + \frac{2}{x^2}$$

на мові ПАК АДА Maple має такий вигляд:

$$\text{del} := \text{diff}(y(x), x) = -y(x)^2 + \frac{2}{x^2};$$

$$\text{DTMsolve}(\text{del});$$

$$y(x) = -\frac{2x^3 + \_C1}{(-x^3 + \_C1)x}$$

$$\text{plot} \left( \left[ \frac{2x^3 \cdot 0.5}{x^4 + 0.5x}, \frac{2x^3 \cdot 10}{x^4 + 10x}, \frac{2x^3 \cdot 50}{x^4 + 50x} \right], \right.$$

$$\left. x = -8..8, y = -10..10 \right).$$

Після завершення автоматичних символно-алгебраїчних процедур АДА Maple отримуємо для трьох значень константи  $\_C1$  візуальний результат у графічному вигляді (рис. 1).

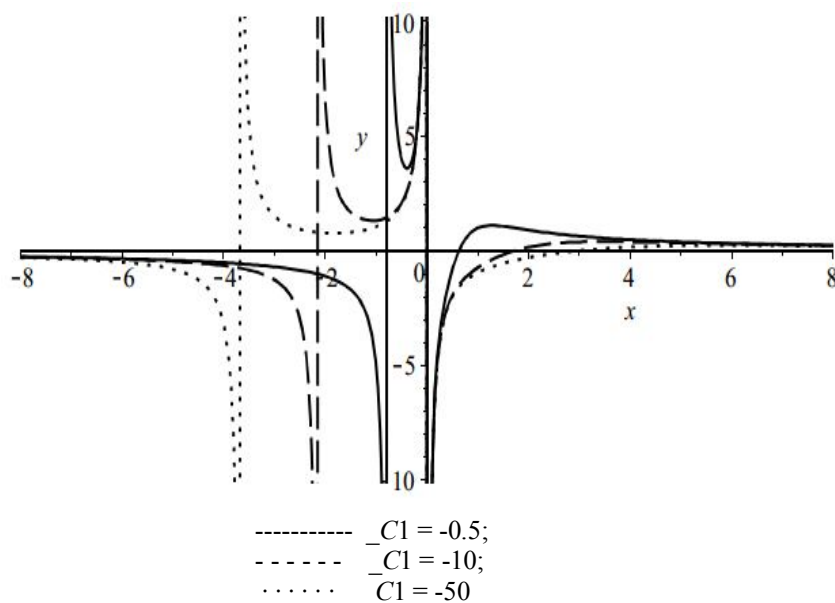


Рис. 1. Три варіанти розв'язків для другого тесту засобами ПАК АДА Maple

Програмне забезпечення сприймає дане завдання та автоматично його виконує. В результаті символічних перетворень отримується аналітичний розв'язок у вигляді алгебраїчної формули

$$y = \frac{(2x^3 + C1)}{x(x^3 - C1)}.$$

Саме така символічно-алгебраїчна єдність дозволяє для практичних задач нелінійної динаміки руху об'єктів ITS отримувати аналітичні розв'язки з необхідною точністю, яку забезпечують властивості збіжності степеневих та тригонометричних рядів до конкретних лімітів відповідно до будови вимірних функцій.

## Висновки

Отримані оцінки комп'ютерної ефективності засобів «АДА-Maple 17» для ергатичного Р-моделювання нелінійної динаміки. Рух об'єктів ВТЗ з складними обмеженнями на режими траєкторного управління місцеположенням ВТЗ промодельовано за даними поточного натурного спостереження від прийомо-індикаторів глобальних супутникових навігаційних систем типу GPS та GLONASS за час реалізації реального рейсу заданим маршрутом.

Інтегрування окремих розв'язків та варіантів обґрунтування виконується через засоби електронної карти з додатковими вікнами за запитом користувача. Візуалізація прогнозних траєкторій руху кожного з ділянок плавання в локальному районі допомагає гарантувати необхідний рівень безпеки управління ВТЗ. При поліергатичній мультиагентній кооперації взаємодії багатьох ІАС використовується спеціальна служба обміну повідомленнями. Ті, хто отримали конкретне повідомлення, підтверджують факт та інформують про свій спосіб маневрування в складних умовах.

## Список літератури

1. Баранов Г.Л. Интеллектуальні засоби підвищення безпеки руху транспортних засобів / Г.Л. Баранов, В.Л. Міронова, С.М. Васько // Вісник Національного транспортного університету: В 2-х частинах: Ч. 2. – К.: НТУ, 2009. – Вип. 19. – С. 90–93.
2. Baranov G Symbolic simulation of complex dynamic systems at the transport industry / G Baranov., A Nosovskii., S. Vasko. // P.H. NAU, Kyiv. 1-st Int. Conf. "Methods and Systems of Navigation and Motion Control" 2010. Conference Proceedings, Kyiv, NAU, October, 13-16. – P. 140-141.
3. Baranov G. Technologies for symbolic Simulation of the dynamics safe maneuvering at vessel / G. Baranov, A. Nosovskii, S. Vasko // Computer science and information technologies: Proceeding of the Vth International Scientific and Technical Conference CSIT 2010. – Lviv: P.H. Vezha&Co, 2010. – P. 128-131.
4. Баранов Г.Л. Активне визначення безпечно-гарантованої траєкторії шляхом структурного моделювання диференційно-ігрових задач в системах навігації і управління рухом об'єктів водного транспорту / Г.Л. Баранов, В.І. Тарасюк, С.М. Васько // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ НУ, 2011. – Вип. 2(18). – С. 14-18.
5. Інформаційно-аналітичне забезпечення інтелектуальних транспортних систем. Інтеграція інформаційних технологій на транспорті. Монографія / Г.Л. Баранов, С.А. Банішевський, В.Л. Міронова, Д.В.. Пасечник. – К.: НТУ, 2009. – 198 с.
6. Соболев О.М. Геометричне моделювання областей припустимих рішень в задачах раціонального розбивання точкової множини на підмножини / О.М. Соболев // Прикладна геометрія та інженерна графіка – К., 2007 – Вип. 77. – С. 120-128.

Надійшла до редколегії 5.06.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г.Л. Баранов, ДП «Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління», Київ.

## СИМВОЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ НА ГРАНИЦЕ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ИНТЕРФЕЙСА СИСТЕМ НАВИГАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

С.М. Васько

Разработана методика применения символьных Р-преобразований для решения практических задач управления движением транспортных средств в сложных условиях влияния среды. Методика в символьной (алгебраической и логико-математической) форме автоматизирована. Она позволяет интегрировать знания оперативных ситуаций и адекватных им моделей, расчетных методов для частной задачи, условий и диапазонов действия факторов окружающей среды на базе временных рядов.

**Ключевые слова:** дифференциально-тейлоровские преобразования, управление ВТЗ, безопасность движения, методика моделирования, оценки, эффективность.

## SYMBOLIC TRANSFORMATIONS ON AGE OF HUMAN-MACHINE INTERFACE OF VEHICLE NAVIGATION AND MOVEMENT CONTROL SYSTEMS

S.M. Vasko

The technique of applying symbolic transformations (DTM) to solve practical problems of control of the vehicle ITS in difficult driving conditions on was developed. Technique in symbolic form allows automatically integrate knowledge and its adequate operational models, computational methods for a particular problem, conditions and ranges of action of environmental factors based on time-series measurements.

**Keywords:** DTM, control, vehicle control, movement safety, simulation methodology, evaluation, efficiency.