

УДК 658.012  
UDK 658.012

ОПТИМІЗАЦІЯ ТРАЕКТОРНОГО УПРАВЛІННЯ ТА БЕЗПЕКИ РУХУ ОБ'ЄКТІВ  
НАЗЕМНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА БАЗІ СТРУКТУРНОГО АНАЛІЗУ  
СКЛАДНИХ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ

Баранов Г.Л., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна  
Міронова В.Л., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ,  
Україна  
Прохоренко О.М., Національний транспортний університет, Київ, Україна

OPTIMISATION TRAJECTORY MANAGEMENT AND SAFETY OBJECTS LAND VEHICLES  
BASED STRUCTURAL ANALYSIS OF COMPLEX DYNAMIC SYSTEMS

Baranov G.L., Doctor of Technical Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine  
Mironova V.L., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine  
Prokhorenko A.M., National Transport University, Kyiv, Ukraine

ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАЕКТОРНЫХ УПРАВЛЕНИЯ И БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ  
ОБЪЕКТОВ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА БАЗЕ СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА  
СЛОЖНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Баранов Г.Л., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев,  
Украина  
Миронова В.Л., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев,  
Украина  
Прохоренко А.Н., Национальный транспортный университет, Киев, Украина

**Вступ.** Актуальність наряду удосконалення траекторного руху всіх наземних транспортних засобів на площині реалізації транспортної роботи відповідно заданого маршруту обумовлена суттєвим впливом чинників вірогідних надзвичайних ситуацій, які збігаються у даній зоні підвищеного ризику подій (ЗПРП) природного та соціотехнологічного середовища [1-3].

Зафіксована статистика [3] скоєних аварій, конфліктних зіткнень, випадкових катастроф об'єктивно є наслідками нелінійних явищ складної динамічної системи (СДС) при взаємодії внутрішніх та зовнішніх факторів, які коливаються та змінюються у просторово часовому континуумі (ПЧК) єдиного зовнішнього середовища не оптимізованого з ядром подій .

**Аналіз сучасного стану.** Значні зусилля вітчизняних та закордонних вчених, конструкторів, експлуатантів спрямовані на оптимальні рішення для подальшого розвитку й удосконаленню компонент систем навігації та управління рухом (СНУР) наземних транспортних засобів (НТЗ). Головні критерії це безпека життя та обов'язкове уникнення катастроф, конфліктів, аварій завдяки новітнім комплексам гарантовано-адаптивного управління (ГАУ) у надзвичайних ситуаціях [4-7]. У межах інтелектуальних транспортних систем (ІТС) розвинених провідних держав світу існуючий рівень аварійності НТЗ не задовільняє вимогам до необхідного ступеня гарантування безпеки життя пасажирів, збереження чистоти екосистем акваторій, економічності (без зайвих витрат та збитковості) рейсів за маршрутами у ЗПРП [8,9]. у наслідок несинергетичного, негармонізованого, нескоординованого, неоптимального режиму роботи багатьох програмно-апаратних комплексів (ПАК).

**Постановка мети та задач дослідження.**

Мета даної роботи – формалізувати умови оптимальної (раціональної за Парето) зони управління завдяки технології структурного моделювання СДС наземних транспортних засобів. Для досягнення даної мети необхідно вирішити наукові завдання на площині ЗПРП в умовах надзвичайних ситуацій та зазначити наступні задачі дослідження.

Природна реальна СДС у межах ЗПРП ПЧК повинна бути адекватно відображена на основі ізоморфізма моделі та об'єкта, що забезпечує конструктивні раціонально оптимальні алгоритми конкретного розв'язання кожної задачі нелінійної динаміки.

Визначена структурна подібність динамічних нелінійних явищ повинна забезпечувати точність ідентифікації параметрів блоків моделі для моделювання режимів роботи засобів СНУР, ГАУ та оптимізації дії виконавчих органів наземних транспортних засобів (НТЗ).

Єдина технологія структурного аналізу перехідних процесів та режимів маневрування повинна бути ефективною (глобально, модульно, локально раціональною) на горизонтальних та вертикальних рівнях синтезу субоптимальних (раціональних) законів реалізації управління за критеріями функціональної стійкості (безаварійності, беззбитковості, безконфліктності) ГАУ НТЗ у ЗПРП єдиного ПЧК.

### **Основний матеріал.**

**Формалізація початкових умов.** Прогнозний, плановий чи фактичний рух НТЗ моделюють наступні компоненти СДС: конкретний об'єкт та його динамічні параметри відповідно чинної конструкції та оснащення засобами СНУР та ГАУ; дана ЗПРП структурована та стратифікована з явним визначенням областей навігації (безпечної – БОН та небезпечної – НОН) відповідно до актуалізованого ПЧК; чинники та фактори впливу зовнішнього середовища мають конкретні фізичні параметри, які у оперативних поточних рухах незалежні, на них неможливо впливати відповідно до реальних природно-кліматичних явищ на площині цільового управління наземними транспортними засобами; поточні ситуативні обмеження та значення ресурсів впливу та протидії оцінені своєчасно та формують вектори граничних умов для кожного рівня моделювання; контактні механізми взаємодії та взаємовпливів між компонентами СДС незважаючи на їх фізичне різноманіття конструктивно (структурно та параметрично) визначені [1].

**Перший крок** структурного моделювання СДС. Цільове у межах області Парето кероване управління наземними транспортними засобами (ЦКУНТЗ) з врахуванням всіх вищеозначених початкових умов відбувається згідно причинно-наслідкової взаємодії у межах даної СДС.

Учасники, що обумовлюють поточні взаємовпливи та взаємодії конкретної СДС, наступні. Полієргатичні виробничі організації (ПЕВО) даної ІТС, яка програмує маршрути руху у ЗПРП та відповідає за якість реалізації транспортної роботи протягом інтервалів часу впливу надзвичайних умов зовнішнього середовища. Серед ПЕВО соціума навколишнього оточуючого середовища (НОС) слід виокремити учасників СДС, які належать до водіїв, які безпосередньо реалізують план руху згідно заданого маршруту та означених поточно-кліматичних умов з наявними загрозами й перешкодами природного НОС Всесвіту.

Об'єкт НТЗ можливо формалізувати з трьох макро блоків моделі з відповідними взаємозв'язками. **Перший** вхідний блок має чутливі органи та необхідні сенсори, які забезпечують повне, точне відчуття реального впливу на стан рухомого об'єкта – НТЗ. Саме це дозволяє формувати на базі СНУР та ГАУ поточні закони оперативного управління. **Другий блок** – ядро, яке формує адекватне реагування НТЗ на отримані  $U(t)$  – закони управління. Ядро реалізує дві форми реагування.

Перша форма реалізує зворотний зв'язок, який забезпечує конструктивний квазіоптимізований розв'язок задач стабілізації. Зміни цільового стану ядра реалізуються шляхом визначення поточного реального факту відхилення від еталонного-заданого значення завдяки факторів дії НОС напряду та опосередковано.

Друга форма реалізує пряме призначення ядра генерувати, виробляти цивілізаційні продукти, товари, замовленні результати. Будь-який НТЗ реалізує транспортну роботу необхідну замовникам, яким корисно щоб заданим (погодженим) маршрутом у межах дозволених витрат відбувся безпечний рух між двома термінальними точками ПЧК з проходженням на заданому часовому інтервалі точок траєкторного управління незважаючи на реальний вплив та збурення факторів НОС.

Третій вихідний блок належить факторам, які оцінюють всі техніко економічні показники даного конкретного руху та забезпечують зовнішній зв'язок з структурами ІТС у межах загального соціума, якому потрібні всі види транспорту [3].

Наступні кроки структурного моделювання формалізованої та означеної покомпонентно СДС полягають у застосуванні принципів структурного моделювання [10,11]. Необхідна подальша деталізація сутностей, особливостей та специфіки конкретного дослідження виконується за темою ГАУ шляхом удосконалення систем траєкторного управління та безпеки руху ВТЗ. Саме ці кроки структуризації формують бази знань та бази даних для послідуочого застосування різноманітних але конкретних моделей з метою отримання головних показників якості раціонального управління, безпеки руху та економічної ефективності. Кожна попередня структурна модель, структурна матриця, структурна схема забезпечують ізоморфізм наступних більш детально розгорнутих часток об'єкта. Таке зняття невизначеностей гарантує подібність внутрішнього відображення особливостей реагування на зовнішні (реальні чи опосередковані за рівнем ієрархії) фактори впливу НОС у НОН та

БОН. Особлива увага полягає у гарантуванні топологічної подібності моделей особливо за критеріями однаковості вхідно – вихідних взаємозалежностей з урахуванням природних нелінійних явищ на кожному рівні ієрархічної декомпозиції СДС.

Формалізована будова інформаційно-аналітичного забезпечення (ІАЗ) інтелектуальних технологій прогнозування часових подій, що за багатьма критеріями ГАУ НТЗ надають базу для експертного оцінювання раціональної області застосування кожної конкретної технології ГАУ, передбачає наступні етапи формування відповідних моделей.

*М1* – опис завдання (обраного перспективного проекту та програми) ІТS у конкретній ЗПРП на заданому інтервалі майбутнього господарювання ПЕВО за обраною технологією ГАУ НТЗ.

*М2* – візуальне (текстове, графічне, діаграмне, табличне, аналітичне) подання відповідних компонент СДС у вигляді побачання до властивостей часткових моделей.

*М3* – інфологічне системне відображення процесних моделей динаміки функціонування елементів, комплексів, підсистем та системи в цілому на час реалізації мети досягнення цілей та виконання завдань ГАУ НТЗ.

*М4* – формалізована схема технології ергатичного (людино-машинного) моделювання для гарантованого отримання набору необхідних й достатніх даних з потрібною точністю, достовірністю, повнотою, яка дозволяє прийняти раціональне рішення стосовно процесів управління ГАУ НТЗ на очікуваний термін даного завдання (проекту) з покроковими адаптаціями та коригуваннями планів.

*М5* – звіт про реалізовані етапи конкретних технологій з повною фіксацією всіх впливових факторів, що змінювались та забезпечили конкретні значення оцінок багатокритеріальної експертизи всіх попередніх умов, обмежень, витрат РЕІМ ресурсів та реальних фактів ефективності та конкурентоспроможності реалізованих процесів, операцій, процедур, планів ГАУ НТЗ. Саме така модель з формальним (стандартизованим, уніфікованим, зрозумілим) описом практичного досвіду є початковим станом (Рис.1), коли є накопиченні знання для наступних форм самовдосконалення ГАУ НТЗ та професійної діяльності стосовно нових інноваційних проектів та програм реалізації транспортної роботи у майбутньому.

**Стандартизована методика** побудови кожної структурної матриці, що далі використовують згідно ергатичного моделювання за допомогою програмно-апаратних комплексів (ПАК) кожного ІАС на автоматизованому робочому місці (АРМ) конкретної ПЕВО має відповідні стандартні етапи [10,11].

Перший початковий крок полягає у засвоєнні загального принципу побудови структурної матриці та доповнення до неї у вигляді тексту – тлумачення символічних кадрів даної тематичної стратифікації об'єкта моделювання та задач оптимізації законів управління.

Базовою є структурна матриця  $3 \times 3$ , що наведена на рис.2.

Повна цілісна структурна матриця має власну унікальну назву – семантичний код – опис семантики особливості та специфіки (СОС) області практичного застосування її для пошуку оптимального руху СДС. Вхід у внутрішню структуру забезпечує елемент [1.1] матриці, який відображує перетин першого рядка та першого стовпчика структурованої шапки – конкретної прагматичної орієнтації даного набору даних. Рядки з першого по  $n$  визначають ієрархічні рівні розподілу функцій за означеною темою та заданою системою. Стовпчики з першого по  $n$  визначають онтологічну сутність декомпозованих компонент означеного рівня організації.

Таким чином елемент [1.1] означає головний ключовий блок даної структури, який характеризує вхід через нього всіх внутрішніх та зовнішніх компонент СДС даного рівня, що впливають на функціональність  $F_{1.1}$ . Особливість функціональності описується через поняття мети, цілей, задачної системи та властивостей, які у сукупності породжують відповідне спрямування до оптимуму.

Елемент [1.2] матриці надає опис детальних цінностей координат вектора стану об'єкта моделювання шляхом фіксації головних властивостей цього об'єкта за обраним принципом декомпозиції та раціонального підпорядкування.

Елемент [1.3] матриці відображує реальну сутність зовнішніх контактних відношень, завдяки яким фактори зовнішнього для даного об'єкта середовища оказують суттєвий вплив на динаміку поведінки (реакцію) відповідної частки його структури у єдиній СДС.

Другий рядок надає відображення елементів [2.1], [2.2], [2.3] даного об'єкта, який ідентифіковано однозначно [1.1] елементом. Таким чином елемент [2.1] визначає унікальну назву підсистеми, суттєвий склад та функції її компонентів відповідно до напрямку означуваному в [1.1] для досягнення мети.

Елемент 2.2 має назву ядра чи конструктивного механізму, завдяки якому визначенні саме суттєві зв'язки взаємодії елементів ядра між його компонентами та зовнішніми факторами середовища, що за межами ядра та означені в 1.3.

Елемент 2.3 відображує функціональні зв'язки, які деталізують та конкретизують не лише напрям впливу, а також й реальну особливість передатної функції зовнішнього фактору, який відповідним чином впливає на компоненту ядра структуризованого 2.3 опису, що відчуває вплив та реагує на нього шляхом зміни стану на більш привабливий.

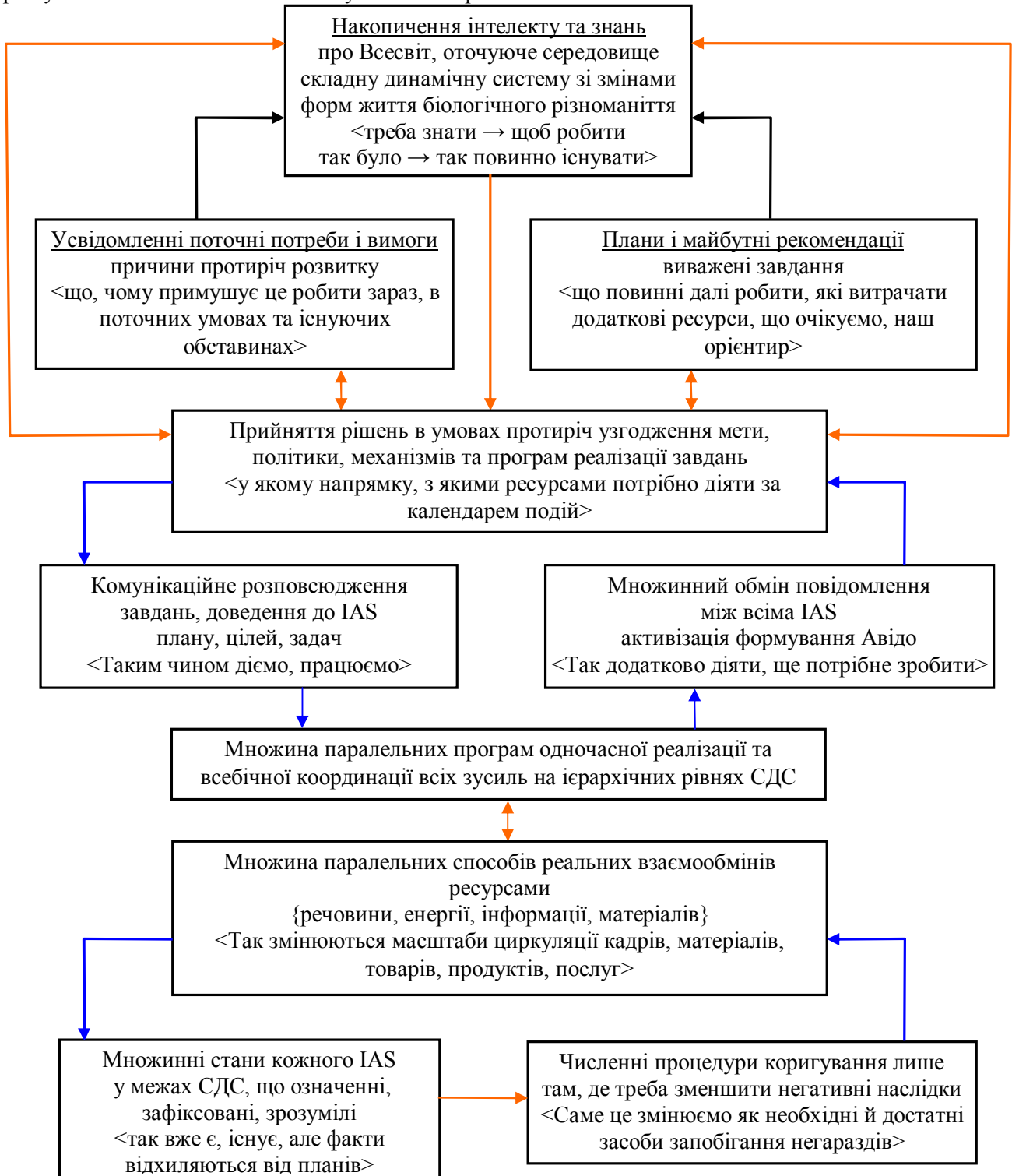


Рисунок 1 – Загальна схема причинно-наслідкових подій у складній динамічній системі зі збуреннями та активними процесами функціонування більшості інтелектуальних агентів заданих полієратичних виробничих організацій ноосфери.

		1	2	3	стовпчики
рядки	1	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	
	2	$a_{21}$	$a_{22}$	$a_{23}$	
	3	$a_{31}$	$a_{32}$	$a_{33}$	

Рисунок 2 – Базова будова поняття структурної матриці  $3 \times 3$ , яка може бути далі відображати необхідну робочу матрицю  $n \times n$  з  $n$ -рядками та стовпчиками.

Третій рядок характеризує елементи  $\boxed{3.1}$ ,  $\boxed{3.2}$ ,  $\boxed{3.3}$  даної матриці (Рис.2).

Елемент  $\boxed{3.1}$  надає стандарт на умовні позначення та опис кожного виду зв'язків у межах даної структурної матриці. Серед всіх зв'язних особливо визначаються вихідні канали, які пов'язують дану матрицю з іншими у СДС та відповідно у пам'яті ІАС та ПАК ГАУ НТЗ.

Елемент  $\boxed{3.2}$  характеризує, які компоненти ядра  $\boxed{2.2}$  формують вихідні результуючі реакції (наприклад, у вигляді продуктів, товарів, послуг, тощо), що надаються у конкретні контактні точки зовнішнього простору разом з відповіддю на запитання <що, це таке?> <навіщо?> <які властивості потрібні замовнику?>. З відправленнями цих матеріальних форм обміну завершується технологічний цикл спілкування з адресно означеним замовником, що знаходиться ззовні чи у НОС.

Елемент  $\boxed{3.3}$  явно відокремлює ядро  $\boxed{2.2}$  з зовнішнім середовищем, де за адресами споживачів (користувачів, замовників) або об'єктів поглинання матеріальних результатів, відбуваються вже інші процеси, які відбуваються за межами вище означеного об'єкта та його даною структурною матрицею.

В цілому визначена матриця  $3 \times 3$  компонентів має діагональ  $\boxed{1.1}$ ,  $\boxed{2.2}$ ,  $\boxed{3.3}$ , яка спрямовує структуру зв'язків вхідних змінних від компонент зовнішнього середовища з компонентами інших вихідних змінних. Така оптимізована структура сформована завдяки динамічному реагуванню внутрішнього ядра з фіксованими внутрішніми ресурсами, здатними надати у вихідні термінальні точки (пункти, порти, контактні зони) результати перетворення вхідних форм зовнішнього впливу у суто інші форми, що поглинає зовнішня частина СДС, яка не належить зоні оптимізації.

Підкреслюємо, що структурна матриця  $3 \times 3$  є лише методичним кроком процесу послідовних етапів декомпозиції та деталізації взаємодії між компонентами СДС на більш розгорнутих кроках зняття невизначеності та підвищення точності моделювання дуже складних паралельних процесів з багатьма учасниками (Рис.1), між якими суттєві взаємовпливи. Саме тому ця початкова матриця визначає всі подальші кроки на шляху досліджень та розв'язування задач нелінійної динаміки СДС, де прогноз майбутнього ефекту застосування адаптивних технологій АВІР у межах ЦКУНТЗ можливий лише шляхом моделювання наступних кроків, передбачення дії факторів зовнішнього середовища та оцінювання наслідкових реакцій багатьох компонент ядра СДС.

Розглянемо типовий приклад структурного аналізу в експлуатаційних умовах, коли розв'язуються задачі контролю та відновлення функціонального стану ергатичних (людино-машинних) засобів навігації та управління рухом суден на акваторії реалізації програмного завдання стосовно запланованого рейсу. Нехай даний об'єкт наземного транспорту (НТЗ) моделюємо згідно диференціального рівняння третього порядку

$$P^3x + C_2P^2x - C_1Px = C_z f(t), \quad (1)$$

де  $C_2 = a_2/a_3$ ;  $C_1 = a_1/a_3$ ;  $C_z = h/a_3$ ,  $a_3 = const$  - відомі коефіцієнти при відповідних змінних параметрів диференціального рівняння;

$P = d/dt$  - оператор диференціювання у даному випадку першого порядку;

$f(t)$  - зовнішнє збурення, що відображає на інтервалі дослідження  $0 \leq t \leq T$  відповідну часову функцію зміни впливу даного фактора зовнішнього середовища (наприклад, сил опору течії, хвильового поля, аеродинамічного напору тощо).

Відповідно вищезазначених правил побудови структурної матриці конкретної моделі згідно рівняння (1) отримаємо наступну (Рис.3) структурну матрицю, де  $1/P$  - це оператор інтегрування. В даному випадку існують два "дефектних" (не забезпечуючих стійкість) контури.

$P^3x$	$P^2x$	$Px$	$x$	$f$
$1/P$	$-C_2$	$C_1$		$C$
$1$	$1/P$			
	$1$	$1/P$		
		$1$	$1$	

Рисунок 3 – Ядро структурної матриці об'єкта дослідження з двома елементами нестійкості згідно диференціальної моделі (1) третього порядку.

Контур по першій похідній  $Px$  робить замикання завдяки позитивного  $C_1 > 0$  коефіцієнта. Другий контур по нульовій похідній змінної  $x$  розімкнений, тобто незамкнений. Таким чином об'єкт у даному випадку не має стійкості ні за основною координатою  $x$ , ні за швидкістю  $Px$  її зміни.

Відновлення фундаментальної властивості об'єкта зберігати стійкість функціонування в умовах явного впливу факторів  $f(t)$  зовнішнього середовища досягається шляхом доповнення об'єкт відповідним регулятором з реалізацією сумісних спільних функцій цільової орієнтації у зону Парето згідно наступних рівнянь

$$P^3x + C_2P^2x - C_1Px = C_\Sigma f(t) - b \cdot U(t),$$

$$U(t) = K_1Px + R_0x \quad (2)$$

де  $\epsilon$  – коефіцієнт інтерфейсної взаємодії об'єкта та регулятора;

$U(t)$  - закон управління, згідно якого координата на виході регулятора відповідає значенню сигналу на вході силового виконавчого органа (СВО), що забезпечує протидію (з протилежним знаком але достатню за потужністю) фактору  $C_\Sigma f(t)$  зовнішнього середовища. Структурна матриця моделі (2) зображена на Рис.4 з відображенням нових компонент, що гарантують відновлення стійкості при дії  $f(t)$  експлуатаційних збурень.

$U$	$СВО$	$P^3x$	$P^2x$	$Px$	$x$	$K_{33}$	$f$
$\Sigma$				$K_1$	$K_0$		$-1$
$1$	$\epsilon$						
	$1$	$1/P$	$-C_2$	$C_1$			$C_\Sigma$
		$1/P$					
			$1/P$				
				$1$	$1$		
				$1$	$1$		$\Sigma$

Рисунок 4 – Розширена структурна матриця (2) до ядра (1) завдяки посту прийняття рішень (ППР) з засобами автоматичного регулювання (ЗАР), силовим виконавчим органом (СВО) ОВТ – НТЗ та каналом зворотнього зв'язку ( $K_{33}$ ), який замикає контур гарантування стійкості.

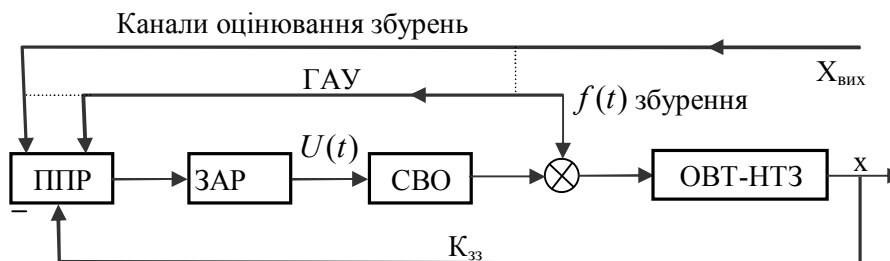


Рисунок 5 – Структурна схема узагальненого адаптивного траєкторного управління з режимами стабілізації стійкості програмного руху відносно уставки на якість завдання.

Таким чином стійкість реалізації експлуатаційного руху ОВТ-НТЗ забезпечують ЗАР, які виконують необхідні умови структурної стійкості згідно рівнянь (2) для компенсації впливу  $f(t)$  збурення. Параметричні достатні умови аналітичного конструювання потрібного регулятора у даному випадку забезпечує нерівність:

$$C_2 (vk_1 - c_1) > vk_0. \quad (3)$$

При необхідності провадити більш детальні дослідження якості траєкторного управління, наприклад, багатомірної СДС [3,9], вищенаведені принципи структурно-параметричного гарантування стійкості експлуатаційних режимів, слід реалізовувати до кожної діагональної матриці, на яку впливають конкретні складові n-мірного збурення.

Кожна окрема складова СДС відповідним чином стратифікується на частки:

- вектор координат наявного неавтоматизованого модуля об'єкта;
- вектор координат каналу вимірювання параметрів стану;
- вектор заданих еталонних установок відповідно цілям управління;
- сигналі кожного закону координованого управління на відповідному ієрархічному рівні контуру забезпечення ефективності;
- проміжні та балансні сигнали оцінювання якості функціонування;
- вектор безпосередніх виходів на реалізацію законів управління по всім каналам, що забезпечують СВО ОБТ-НТЗ.

### **Висновки.**

Запропонована технологія структурного моделювання складних динамічних систем, які визначають такі закони траєкторного оперативного управління, що гарантують безпеку руху НТЗ у зонах підвищеного ризику аварійних подій під час виконання реальних транспортних перевезень з дією зовнішніх факторів навколишнього оточуючого середовища. Дана технологія системно-аналогового моделювання має наступні переваги.

1. Конструктивний формальний процес забезпечення подібності, адекватності та ефективності відображення багатомірних динамічних об'єктів у вигляді комп'ютерних розрахункових моделей базується на уніфікованих структурних матрицях, які не мають похибок та викривлень стосовно цілей розв'язку задач практики.
2. Гетерогенна та різноманітна фізична природа складної динамічної системи в умовах зміни структури впливів факторів навколишнього оточуючого середовища відображується в стандартизованій формі структурних матриць, які дозволяють моделювати нелінійні операції, процеси, перетворення та явища на всіх рівнях ієрархічної складності.
3. Чітка, явна структуризація та стратифікація взаємозв'язків та взаємовпливів у єдиній складній динамічній моделі забезпечує повноту реального узгодження вхідно-вихідних параметрів по кожному елементу, блоку, модулю, комплексу та підсистемі, які нелінійним чином реагують на зміни балансів у контактних зонах цілісної природної системи, коли її ядро відчуває збурення, відмови та інші впливи форс-мажорних обставин, врахування яких дозволяє раціональним чином запобігати чи ухилятися від загроз, досягаючи цілей безпеки життя, екологічної безпеки довкілля та економічної безпеки від реалізації транспортних перевезень у складних обставинах.
4. Прості стандартизовані процедури системно-аналогового моделювання складних динамічних систем гарантують ефективний розв'язок задач практики за рахунок синергетичного отримання загальної мети та всіх цілей даної конкретної інтелектуальної транспортної системи у реальних складних обставинах, які є загрозою безпеки руху під час траєкторного управління запланованим маршрутом.

**Перспективи подальших досліджень** пов'язані з удосконаленням інформаційно-аналітичного забезпечення інтегрованих комплексів контролю та відновлення функціонального стану ергатичних засобів навігації та управління рухом суден у складних умовах експлуатації.

### **ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Дмитриченко М.Ф. Транспортні технології в системах логістики / М.Ф. Дмитриченко, П.Р. Левковець, А.М. Ткаченко, О.С. Ігнатенко та ін. // Підручник. – К.: Інформавтодор, 2007. – 676 с.
2. Воркут Т.А. Проектний аналіз. Навчальний посібник. – Київ.: УЦДК, 2008. – 440 с.
3. Воркут Т.А. Проектування систем транспортного обслуговування в ланцюгах постачань. – К.: НТУ, 2008. – 220 с.
4. Aviation Accident Statistics [Electronic resource]/ National Transportation Safety Board. – Mode of access: [www.nts.gov/aviation/aviation.htm](http://www.nts.gov/aviation/aviation.htm). – Last access: 2012 – Title from the screen.
5. Котик М.А. Природа ошибок человека-оператора на примерах управления транспортными средствами./ М.А. Котик, А.М. Емельянов. – М.: Транспорт, 1993. – 252с.

6. Волгин Л.Н. Оптимальное дискретное управление динамическими системами / Под ред. П.Д. Крутько / Л.Н. Волгин. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1986. – 240с.
7. Баранов Г.Л. Принципи гарантування рівнів безпеки руху водних транспортних засобів в сучасних умовах / Г.Л. Баранов, Г.Г. Соболевський, І.В. Тихонов // Водний транспорт. Збірник наук. праць Київської державної академії водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича – Сагайдачного. – К.: КДАВТ. 2013. - №1(16). – С. 7-13
8. Баранов Г.Л. Функціональна стійкість навігаційного обслуговування безпеки судноплавства на внутрішніх водних шляхах / Г.Л.Баранов, А.М.Носовський, І.В. Тихонов // Монографія. – К.:КДАВТ. 2012. – 149с.
9. Баранов Г.Л. Фундаментальні властивості та відношення в сучасних системах навігації, зв'язку та управління рухом / Г.Л. Баранов, А.М. Носовський, В.І. Тарасюк // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІНУ. 2011. – Вип 1(17) - с.2-9
10. Баранов Г.Л. Структурное моделирование сложных динамических систем / Г.Л. Баранов, А.В. Макаров. – Киев: Наук. думка. 1986. – 272с.
11. Шатихин Л.Г. Структурные матрицы и их применение для исследования систем / Л.Г. Шатихин – 2-е изд. – М.: Машиностроение. 1991. – 256с.
12. Миллер Б.М. Оптимизация динамических систем с импульсными управлениями / Б.М. Миллер, Е.Я. Рубинович; [отв.ред. Н.А. Кузнецов]; Ин-т проблем передачи информ. (ИППИ); Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова (ИПУ). – М.: Наука, 2005. – 429с.

#### REFERENCES

1. Dmytrychenko M.F., Levkovets P.R., Tkachenko A.M., Ignatenko O.S., Zayonchyk L.G., Statnyk I.M. Transportni tehnologii v systemah logistiki [Transport technologies in logistics systems]. Kiev: Informavtodor, 2007, 676p. (ukr)
2. Vorkut T.A. Proektniy analiz [Project Analysis]. Kiev: UC DK, 2008. 440p. (rus)
3. Vorkut T.A. Proektuvannya system transportnogo obslugovuvannya v lancyugah postachan [Design of transport services in supply chains]. Kiev: NTU, 2008. 220p. (ukr)
4. Aviation Accident Statistics [Electronic resource] / National Transportation Safety Board. - Mode of access: [www.nts.gov/aviation/aviation.htm](http://www.nts.gov/aviation/aviation.htm). - Last access: 2012 - Title from the screen.
5. Kotik M.A., Emelyanov A.M. Priroda oshybok cheloveka-operatora na primerah upravleniya transportnymi sredstvami [Nature of the human operator errors examples driving]. Moscow: Transport, 1993. 252p. (rus)
6. Volgyn L.N. Optimalnoe diskretnoe upravlenie dinamicheskimi sistemami [Discrete optimal control of dynamic systems]. Moscow: Nauka. Section. eds. fyz.-mate. lit. 1986. 240p. (ukr)
7. Baranov G.L., Sobolewski G.G., Tikhonov I.V. Principi garantuvanie rivniv bezpeki ruhu vodnih transportnih zasobiv v suchasnikh umovakh [Principles guaranteeing safety of aquatic vehicles in modern conditions]. Water Transport. Collection of Sciences. works of Kyiv State Academy of Water Transport named after hetman Petro Konashevich - Sagaydachny. Kyiv: KDAVT. 2013. № 1 (16). P. 7-13 (ukr)
8. Baranov G.L., Nosovskiy A.M., Tikhonov I.V. Funktsionalna stiykist navigatsiynogo obslugovuvanya bezpeki sudnoplavstva na vnytrishnikh vodnikh sclyakhakh [Functional stability navigation service navigation for safety on inland waterways]. Monograph. Kyiv: KDAVT. 2012. 149p. (ukr)
9. Baranov G.L., Nosovskiy A.M., Tarasyuk V.I. Fundamentalni vlastivosti ta vidnoshenya v suchasnikh sistemakh navigatsii zvyazku ta upravlinia rukhom [Fundamental properties and relations in modern navigation systems and air traffic control communications]. Control systems, navigation and communication. Kyiv: TSNDINU. 2011. Issue 1 (17). P.2-9 (ukr)
10. Baranov G.L.,Makarov A.V. Strukturnoe modelirovanie slozhnikh dinamicheskikh sistem [Structural modeling of complex dynamic systems]. Kiev: Naukova opinia, 1986, 272p. (rus)
11. Shatyhyn L.G. Strukturnie matritsi i ikh primineniye dlya isledovaniye sistem [Structural matrices and their application to the study of systems]. Moscow: Mashynostreenye, 1991. 256p (rus)
12. Miller B.M., Rubinovich E.YA. Optimizatsya dinamicheskikh system s impulsnymi upravleniyami [Optimization of dynamic systems with impulse controls]. Moscow: Nauka, 2005. 429p. (rus)

#### РЕФЕРАТ

Баранов Г.Л. Оптимізація траєкторного управління та безпеки руху об'єктів наземних транспортних засобів на базі структурного аналізу складних динамічних систем. / Г.Л. Баранов, В.Л. Міронова, О.М. Прохоренко // Управління проектами, системний аналіз і логістика». – К.: НТУ, 2013. – Вип. 12.



В роботі розглянуто системи траєкторного управління об'єктів наземного транспорту за критеріями гарантування безпеки та якості їх руху у надзвичайних ситуаціях. Запропонована технологія структурного моделювання складних нелінійних динамічних систем на базі структурних матриць відображення ізоморфізму моделі та об'єкта. Дана технологія системо-аналогового моделювання має ряд переваг. Конструктивний формальний процес забезпечення подібності, адекватності та ефективності відображення багатомірних динамічних об'єктів у вигляді комп'ютерних розрахункових моделей базується на уніфікованих структурних матрицях, які не мають похибок та викривлень стосовно цілей розв'язку задач практики. Гетерогенна та різноманітна фізична природа складної динамічної системи в умовах зміни структури впливів факторів навколишнього середовища відображується в стандартизованій формі структурних матриць, які дозволяють моделювати нелінійні операції, процеси, перетворення та явища на всіх рівнях ієрархічної складності. Чітка структуризація взаємозв'язків та взаємовпливів у єдиній складній динамічній моделі забезпечує повноту реального узгодження вхідно-вихідних параметрів по кожному елементу, які нелінійним чином реагують на зміни балансів у контактних зонах цілісної природної системи. Прості стандартизовані процедури системо-аналогового моделювання складних динамічних систем гарантують ефективний розв'язок задач практики за рахунок синергетичного отримання загальної мети та всіх цілей даної конкретної інтелектуальної транспортної системи у реальних складних обставинах.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ДИНАМІКА РУХУ, НАВІГАЦІЯ, ТРАЄКТОРНЕ УПРАВЛІННЯ, ЗБУРЕННЯ, ЗАГРОЗИ, ПРИДАТНИЙ ОПТИМУМ, БЕЗПЕКА ЖИТТЯ.

#### ABSTRACT

Baranov G.L., Mironova V.L., Prokhorenko O.M. Optimisation trajectory management and safety objects land vehicles based structural analysis of complex dynamic systems. Management of projects, system analysis and logistics K.: NTU, 2013. Vol. 12.

We consider the system trajectory control facilities for land vehicles criteria ensuring safety and quality of their movement in emergencies. The technology of structural modeling complex nonlinear dynamic systems based on structural isomorphism mapping matrix model and object. This technology system-analogue modeling has several advantages. Constructive formal process to ensure similarity, adequacy and effectiveness of mapping multidimensional dynamic objects in a computer calculation models based on the unified structural matrices, with no errors and distortions about the goals problem solving practice. Heterogeneous and diverse physical nature of complex dynamic systems in a changing structure of environmental factors is shown in a standardized form structural matrices, which allow to model nonlinear operations, processes, and conversion phenomena at all levels of hierarchical complexity. The clear structuring relationships and mutual influences in a single complex dynamic model ensures the completeness of the real coordination input-output parameters for each element that nonlinear manner to react to changes in the balance of contact zones holistic natural system. Simple procedures are standardized system-analogue modeling of complex dynamic systems guarantee efficient solution to the problem through a synergistic practice of obtaining the overall goal and all goals of this particular intellectual transport system in real difficult circumstances.

**KEY WORDS:** DYNAMICS OF MOVEMENT, NAVIGATION, TRAJECTORY CONTROL PERTURBATION THREATS SUITABLE OPTIMUM, LIFE SAFETY.

#### РЕФЕРАТ

Баранов Г.Л. Оптимизация траекторного управления и безопасности движения объектов наземных транспортных средств на базе структурного анализ сложных динамических систем. / Г.Л. Баранов, В.Л. Миронова, А.Н. Прохоренко // Управление проектами, системный анализ и логистика». - К.: НТУ 2013. – Вып.12

В работе рассмотрены системы траекторного управления объектов наземного транспорта по критериям обеспечения безопасности и качества их движения в чрезвычайных ситуациях. Предложенная технология структурного моделирования сложных нелинейных динамических систем на базе структурных матриц отражения изоморфизма модели и объекта. Данная технология системно - аналогового моделирования имеет ряд преимуществ. Конструктивный формальный процесс обеспечения подобности, адекватности и эффективности отображения многомерных динамических объектов в виде компьютерных расчетных моделей базируется на унифицированных структурных матрицах, которые не имеют погрешностей и искажений относительно целей решения задач практики. Гетерогенная и разнообразная физическая природа сложной динамической системы в

условиях изменения структуры воздействий факторов окружающей среды отображается в стандартизированной форме структурных матриц, которые позволяют моделировать нелинейные операции, процессы, преобразования и явления на всех уровнях иерархической сложности. Четкая структуризация взаимосвязей и взаимовлияний в единой сложной динамической модели обеспечивает полноту реального согласования входо-выходных параметров по каждому элементу, которые нелинейным образом реагируют на изменения балансов в контактных зонах целостной природной системы. Простые стандартизированные процедуры системно-аналогового моделирования сложных динамических систем гарантируют эффективное решение задач практики за счет синергетического получения общей цели и всех целей данной конкретной интеллектуальной транспортной системы в реальных сложных обстоятельствах.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ, НАВИГАЦИЯ, ТРАЕКТОРНЫХ УПРАВЛЕНИЕ, ВОЗМУЩЕНИЯ, УГРОЗЫ, РАЦИОНАЛЬНЫЙ ОПТИМУМ, БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНИ.

**АВТОРИ:**

Баранов Г.Л., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри інформаційних систем і технологій, тел. 280-70-66, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова, 1, к. 347а.

Міронова В.Л. кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри інформаційних систем і технологій, тел. 280-70-66, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова, 1, к. 347а.

Прохоренко О.М. Національний транспортний університет, аспірант кафедри інформаційних систем і технологій, тел. 280-70-66, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова, 1, к. 347а.

**AUTHOR:**

Baranov G.L., Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, Professor, Department of Information Systems and Technology, tel. 280-70-66, Ukraine, 01010, Kyiv, str. Suvorov, 1, k 347th .

Mironova V.L., Ph.D., National Transport University, Associate Professor of Information Systems and Technology, tel. 280-70-66, Ukraine, 01010, Kyiv, str. Suvorov, 1, k 347th.

Prokhorenko A.M. National Transport University, postgraduate, department of Information Systems and Technology, tel. 280-70-66, Ukraine, 01010, Kyiv, str. Suvorov, 1, k 347th .

**АВТОРЫ:**

Баранов Г.Л., доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, профессор кафедры информационных систем и технологий, тел. 280-70-66, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова, 1, к. 347а .

Миронова В.Л. кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, доцент кафедры информационных систем и технологий, тел. 280-70-66, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова, 1, к. 347а

Прохоренко А.Н. Национальный транспортный университет, аспирант кафедры информационных систем и технологий, тел. 280-70-66, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова, 1, к. 347а

**РЕЦЕНЗЕНТИ:**

Прокудин Г.С. доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, Завідуючий кафедрою міжнародних перевезень та митного контролю,

Біляєвський Л.С. доктор технічних наук, професор, Київська державна академія водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного, професор кафедри технічних систем і пристроїв управління у судноводінні

**REVIEWER:**

Prokudin G.S., Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, Head of department "International Freights Shipments and Customs Control"

Bilyayevskyy L.S., Doctor of Technical Science, Professor, Kyiv State Academy of Water Transport named after hetman Petro Konashevich-Sagajdachniy, Professor, department of engineering systems and control devices in navigation