

Баранов Г.Л., Тихонов І.В., Соболевський Г.Г.

СТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ СКЛАДНИХ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ ТРАЄКТОРНОГО УПРАВЛІННЯ ТА БЕЗПЕКИ РУХУ ОБ'ЄКТІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

В работе рассмотрены системы траекторного управления объектов водного транспорта по критериям обеспечения безопасности и качества их движения в ситуациях с повышенным риском. Предложена технология структурного моделирования сложных нелинейных динамических систем на базе структурных матриц отражения изоморфизма модели и объекта.

Ключевые слова: *динамика движения, судовождения, траекторных управление, возмущения, угрозы, рациональный оптимум, безопасность жизни.*

Вступ. Актуальність проблеми удосконалення траєкторного руху суден на водних акваторіях для реалізації транспортної роботи відповідно до заданого маршруту обумовлена суттєвим впливом чинників вірогідних надзвичайних ситуацій, які збігаються у даній зоні підвищеного ризику подій (ЗПРП) природного та соціотехнологічного середовища.

Зафіксована статистика аварійних подій на водному транспорті об'єктивно є наслідками нелінійних явищ взаємодії внутрішніх та зовнішніх факторів складної динамічної системи (СДС), які коливаються та змінюються у просторово часовому континуумі (ПЧК) єдиного зовнішнього середовища.

Аналіз сучасного стану. Значні зусилля вітчизняних та закордонних вчених, конструкторів, експлуатантів спрямовані на подальший розвиток й удосконалення компонент систем навігації та управління рухом (СНУР) водних транспортних засобів (ВТЗ) за критеріями безпеки життя та обов'язкового уникнення катастроф, конфліктів, аварій завдяки новітнім комплексам гарантовано-адаптивного управління (ГАУ) у надзвичайних ситуаціях [1-4]. Але у наслідок несинергетичного, не гармонізованого, не скоординованого режиму роботи багатьох програмно-апаратних комплексів (ПАК) у межах інтелектуальних транспортних систем (ІТС) розвинених провідних держав світу існуючий рівень аварійності ВТЗ 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 [5,6].

Постановка мети та задач дослідження.

Мета даної роботи – формалізувати технологію структурного моделювання СДС судноводіння на акваторії ЗПРП в умовах ситуацій з підвищеним ризиком. Для досягнення даної мети необхідно вирішити наукові завдання 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 алгоритми конкретного розв'язання кожної задачі.

Визначена структурна подібність динамічних нелінійних явищ повинна забезпечувати точність ідентифікації параметрів блоків моделі для моделювання режимів роботи засобів СНУР, ГАУ та виконавчих органів судноводіння.

Єдина технологія структурного аналізу перехідних процесів та режимів маневрування повинна бути ефективною на горизонтальних та вертикальних рівнях синтезу субоптимальних (раціональних) законів реалізації управління за критеріями функціональної стійкості (безаварійності, беззбитковості, безконфліктності) ГАУ ВТЗ.

Основний матеріал. Формалізація початкових умов. Прогнозний, плановий чи фактичний рух ВТЗ моделює наступні компоненти СДС: конкретний об'єкт та його динамічні параметри відповідно чинної конструкції та оснащення засобами СНУР та ГАУ; дана ЗППП 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 відповідно до реальних оцінок природно-кліматичних явищ на акваторії цільового судноводіння; поточні 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.

Перший крок структурного моделювання СДС. Цільове кероване судноводіння (ЦКС) з врахуванням всіх вищезначених початкових умов відбувається згідно причинно-наслідкової взаємодії у межах даної СДС.

Учасниками, що обумовлюють поточні взаємовпливи та взаємодії конкретної СДС, є поліергатичні виробничі організації (ПЕВО) даної ІТС, яка програмує рейс, маршрути руху у ЗППП та відповідає за якість реалізації транспортної роботи включаючи інтервали часу впливу надзвичайних умов зовнішнього середовища. Серед ПЕВО соціуму навколишнього оточуючого середовища (НОС) слід відокремити учасників СДС, які належать до складу вахти, яка безпосередньо реалізує план рейсу згідно заданого маршруту та означених поточно-кліматичних умов з наявними загрозами й перешкодами природного НОС Всесвіту.

ВТЗ можливо формалізувати з трьох макроблоків 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 – ВТЗ. Саме це дозволяє формувати на базі СНУР та ГАУ поточні закони оперативного управління. Другий блок – ядро, яке формує адекватне реагування судна на отримані $U(t)$ – закони управління. Ядро реалізує дві форми реагування. Перша форма реалізує зворотний зв'язок, який забезпечує конструктивний розв'язок задач стабілізації. Зміни цільового стану ядра реалізується шляхом визначення поточного реального відхилення від еталонного-заданого значення.

Друга форма реалізує пряме призначення ядра генерувати, виробляти цивілізаційні продукти, товари, замовленні результати. Будь-який ВТЗ реалізує транспортну роботу необхідну замовникам, яким корисно, щоб заданим (погодженим) маршрутом у межах дозволених витрат відбувся безпечний рейс між двома портами 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 рейсу та забезпечують зв'язок з структурами ІТС у межах загального соціума, якому потрібні всі види транспорту, включаючи ЦКС.

Наступні кроки структурного моделювання формалізованої та означеної покомпонентно СДС полягають у застосуванні принципів структурного моделювання [7,8] до подальшої деталізації сутностей, особливостей та специфіки конкретного дослідження за темою ЦКС шляхом удосконалення систем траєкторного управління та безпеки руху ВТЗ. Саме ці кроки структурізації формують бази знань та бази даних для послідовного застосування різноманітних конкретних моделей з метою отримання головних показників якості управління, безпеки руху та економічної ефективності. Кожна попередня структурна модель, структурна матриця, структурна схема забезпечують ізоморфізм наступних більш детально розгорнутих для 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.

Формалізована будова інформаційно-аналітичного забезпечення (ІАЗ) інтелектуальних технологій прогнозування часових подій, що за багатьма критеріями ЦКС надають базу для

експертного оцінювання раціональної області застосування кожної конкретної технології ГАУ передбачає наступні етапи формування відповідних моделей.

M1 – опис завдання (обраного перспективного проекту та програми) ITS у конкретній ЗППІ на заданому інтервалі майбутнього простору ПЕВО за обраною технологією ЦКС.

M2 – візуальне (текстове, графічне, діаграмне, табличне, аналітичне) подання відповідних компонент СДС у вигляді побажання до властивостей часткових моделей.

M3 – інфологічне системне відображення процесних моделей динаміки функціонування елементів, комплексів, підсистем та системи в цілому на час реалізації мети досягнення цілей та виконання завдань ЦКС.

M4 – формалізована схема технології ергатичного (людино-машинного) моделювання для гарантованого отримання набору необхідних та достатніх даних з потрібною точністю, достовірністю, повнотою, яка дозволяє прийняти раціональне рішення стосовно процесів управління ЦКС на очікуваний термін даного завдання (проекту) з покроковими адаптаціями та коригуваннями планів.

M5 – 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 ЦКС. Саме така модель з формальним (стандартизованим, уніфікованим (зрозумілим) описом практичного досвіду є початковим станом (Рис.1), коли є накопиченні знання для наступних форм самовдосконалення ЦКС 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 [7,8].

Перший початковий крок полягає у засвоєнні загального принципу побудови структурної матриці та доповнення до неї у вигляді тексту – тлумачення символічних кадрів даної тематичної стратифікації

Базовою є структурна матриця 3×3 , 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 в наукових дослідженнях 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 вихідне значення.

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.

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.

Другий рядок надає відображення елементів **2.1**, **2.2**, **2.3** даного об'єкта, який ідентифіковано однозначно елементом **1.1**. Таким чином елемент **2.1** визначає унікальну

назву підсистеми, суттєвий склад та функції її компонентів відповідно до напрямку означуваному в [1.1].

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.

Третій рядок характеризує елементи [3.1], [3.2], [3.3] даної матриці (Рис.2).

Елемент [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 ЦКС .

Елемент [3.2] характеризує, які компоненти ядра [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 [3.3] явно відокремлює ядро [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 3x3 компонентів має діагональ [1.1], [2.2], [3.3], яка спрямовує структуру зв'язків вхідних змінних від компонент зовнішнього середовища з компонентами інших вихідних змінних, які сформовані 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.

Підкреслюємо, що структурна матриця 3x3 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 започатковує всі подальші кроки на шляху досліджень та розв'язування задач нелінійної динаміки СДС, де прогноз майбутнього ефекту застосування адаптивних технологій АВПР у межах ЦКС 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. Даний об'єкт водного транспорту (ОВТ-ВТЗ) 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 параметрах 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).

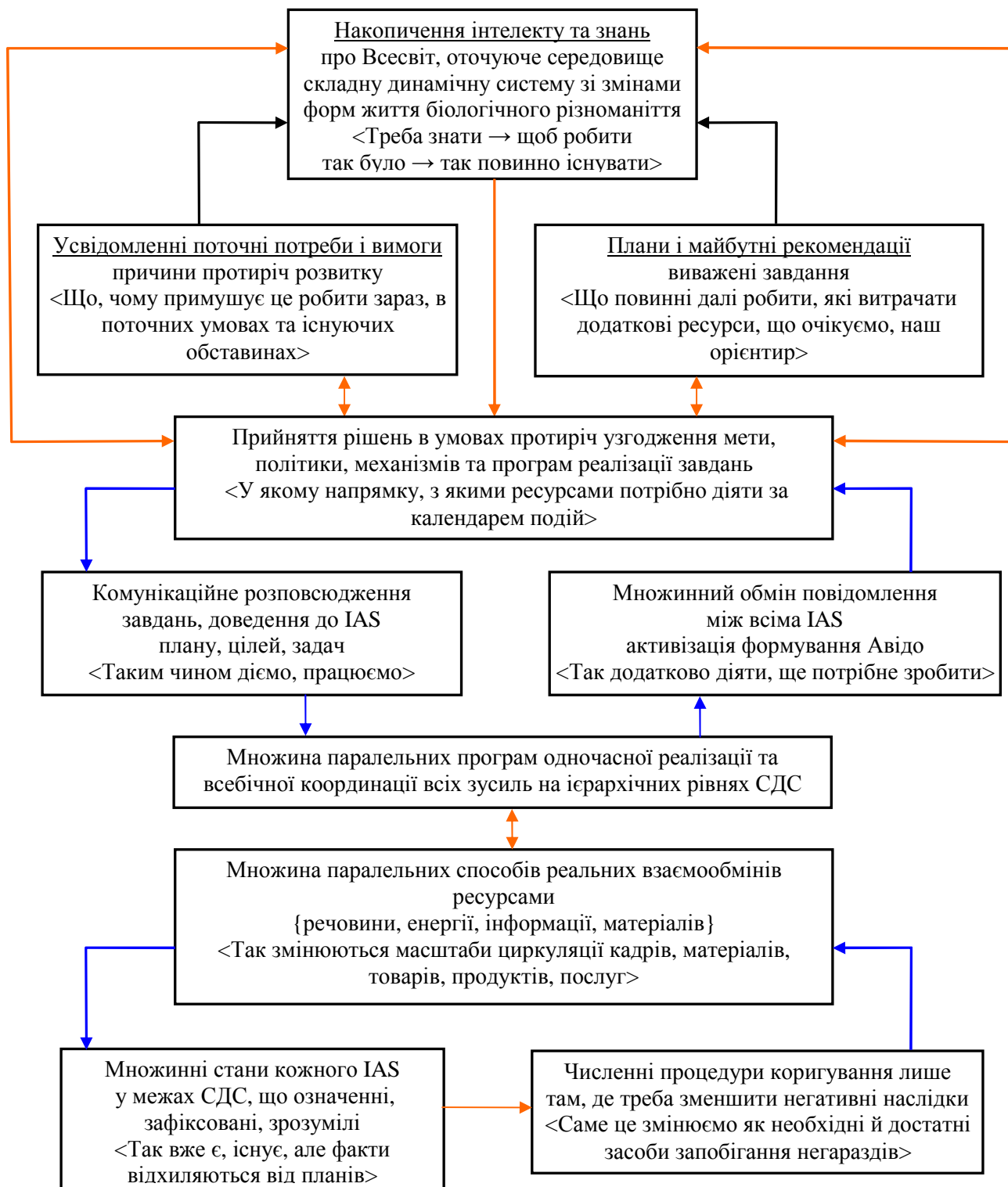


Рис.1. Загальна схема причинно-наслідкових подій у складній динамічній системі зі збуреннями та активними процесами функціонування більшості інтелектуальних агентів заданих полієргатичних виробничих організацій ноосфери

		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}	

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

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 забезпечуючи стійкість) контури.

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

Рис.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'єкту відповідним регулятором з реалізацією сумісних спільних функцій згідно наступних рівнянь

$$\begin{aligned} P^3x + C_2P^2x - C_1Px &= C_\Sigma f(t) - b \cdot U(t), \\ U(t) &= K_1Px + R_0x \end{aligned} \quad (2)$$

де b – 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	CBO	P^3x	P^2x	Px	x	K_{33}	f
\sum				K_1	K_0	-1	
1	σ						
	1	$1/P$	$-C_2$	C_1			C_Σ
		$1/P$					
			$1/P$				
				1	1		
				1	-1		Σ

Рис.4. Розширена структурна матриця (2) до ядра (1) завдяки посту прийняття рішень (ППР) з засобами автоматичного регулювання (ЗАР), силовим виконавчим органом (СВО) ОВТ ВТЗ та каналом зворотнього зв'язку (КЗЗ), який замикає контур гарантування стійкості

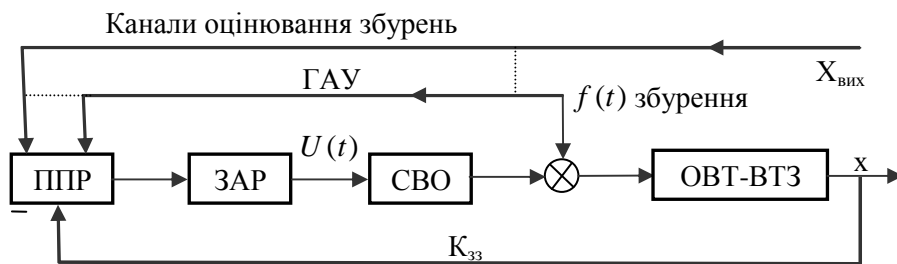


Рис. 5. Структурна схема узагальненого адаптивного траєкторного управління з режимами стабілізації стійкості програмного руху відносно уставки на якість завдання

Таким чином стійкість реалізації експлуатаційного руху ОВТ-ВТЗ 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:

$$C_2(\sigma k_1 - c_1) > \sigma k_0. \quad (3)$$

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 ОВТ-ВТЗ.

Висновки.

Запропонована технологія структурного моделювання складних динамічних систем, які визначають такі закони траєкторного оперативного управління, що гарантують безпеку руху ВТЗ у зонах підвищеного ризику аварійних подій під час виконання реальних

транспортних перевезень з дією зовнішніх факторів навколишнього оточуючого середовища. Дана технологія системо-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 ухилитись від загроз, досягаючи цілей безпеки життя, екологічної безпеки довкілля та економічної безпеки від реалізації транспортних перевезень у складних обставинах.

4. 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, 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.

ЛІТЕРАТУРА

1. Aviation Accident Statistics [Electronic resource]/ National Transportation Safety Board. – Mode of access: www.nts.gov/aviation/aviation.htm. – Last access: 2012 – Title from the screen.
2. Котик М.А. Природа ошибок человека-оператора на примерах управления транспортными средствами./ М.А. Котик, А.М. Емельянов. – М.: Транспорт, 1993. – 252с.
3. 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.
4. 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
5. 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.
6. 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
7. Баранов Г.Л. Структурное моделирование сложных динамических систем / Г.Л. Баранов, А.В. Макаров. – Киев: Наук. думка. 1986. – 272с.
8. Шатихин Л.Г. Структурные матрицы и их применение для исследования систем / Л.Г. Шатихин – 2-е изд. – М.: Машиностроение. 1991. – 256с.
9. 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.

Baranov G.L., Tykhonov I.V., Sobolewsky G.G.

STRUCTURAL ANALYSIS OF COMPLEX DYNAMIC SYSTEMS OF TRAJECTORIAL CONTROL AND SAFETY WATER TRANSPORT UNITS

the system trajectory control facilities for water transport criteria ensuring safety and quality of their movement in emergencies are considered. The technology of structural modeling complex nonlinear dynamic systems based on structural isomorphism mapping matrix model and object

Key words: dynamics of movement, navigation, trajectory control perturbation threats suitable optimum, safety of life.

Баранов Г.Л., Тихонов И.В., Соболевский Г.Г.

СТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ СКЛАДНИХ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ ТРАЄКТОРНІ УПРАВЛІННЯ ТА БЕЗПЕКИ РУХУ ОБ'ЄКТІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

В роботі розглянуто системи траєкторного управління об'єктів водного транспорту за критеріями гарантування безпеки та якості їх руху у ситуаціях з підвищеним ризиком. Запропонована технологія структурного моделювання складних нелінійних динамічних систем на базі структурних матриць відображення ізоморфізму моделі та об'єкта.

Ключові слова: динаміка руху, судноводіння, траєкторне управління, збурення, загрози, додатний оптимум, безпека життя.