

СИСТЕМА ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ТА КОНТРОЛЮ НАВІГАЦІЙНОЇ СИТУАЦІЇ ПРИ УПРАВЛІННІ РУХОМ СУДЕН У СКЛАДНИХ ОБСТАВИНАХ

Баранов Г.Л.,

ДП «Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління», м. Київ,

Носовський А.М.,

*Київська державна академія водного транспорту
ім. гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного,*

Васько С.М.,

Національний транспортний університет, м. Київ

У статті проводяться дослідження, спрямовані на побудову системи гарантованого адаптивного управління об'єктами водного транспорту з забезпеченням її функціональної стійкості у складних обставинах. У межах системи, яка пропонується, вирішується задача раціонального розподілу функцій між оператором, як особою, що приймає рішення, та автоматом, як прогресивним бортовим багатофункціональним комплексом навігації і управління рухом суден.

Ключові слова: об'єкти водного транспорту, адаптивне управління, функціональна стійкість, складні динамічні системи.

Вступ. У сучасних умовах підвищуються вимоги щодо безпеки руху суден у складних обставинах прояву факторів впливу природного та соціотехнічного середовища, які разом визначають поточні умови судноводіння. Безпека життя пасажирів та екіпажу, цілісність і своєчасність постачання вантажів, екологічна якість та економічна ефективність транспортної роботи – це далеко не повний перелік головних цільових критеріїв, що впливають на рішення безперервної адаптації до поточних умов взаємодії, які змінюються [1] у зоні плавання.

Актуальність досліджень. Статистика аварій та аварійних подій на водних шляхах свідчить, що, незважаючи на значні зусилля щодо вдосконалення процесів судноводіння, лєвова їх частка відбувається з причин «навігаційних ситуацій» та «людського фактору» [1-3]. Саме це визначає актуальність досліджень, що спрямовані на побудову систем гарантовано адаптивного управління (ГАУ) об'єктами водного транспорту (ОВТ), яка забезпечує функціональну стійкість [4, 5] її у складних обставинах. У межах системи ГАУ ОВТ, яка пропонується, вирішується задача раціонального розподілу функцій між оператором, як особою, що приймає рішення (ОПР), та автоматом, як прогресивним бортовим багатофункціональним програмно-апаратним комплексом (ПАК) навігації і управління рухом суден [6, 7].

Постановка задачі. Складні динамічні системи (СДС) [6] ГАУ ОВТ мають відповідні визначальні підсистеми: природне навколишнє середовище, фактори якого змінюються та за збігом обставин формують збурення й перешкоди; соціотехнічне середовище, яке охоплює об'єкт управління, який безперервно витрачає ресурси та реагує на зовнішні та внутрішні силомоментні взаємодії <корпуса>, <двигуна>, <гвинта> у нестационарній

аерогідравлічній контактній зоні руху судна; бортовий ПАК ОВТ, який у різних експлуатаційних ситуаціях забезпечує телекомунікаційний інтерфейс взаємодії між ОПР та системою автоматики ОВТ; інтелектуальна частина діалогового інтерфейсу з візуалізацією всіх впливових чинників та зонами дії, а також мовою визначення рішень людини, що в екстремальних умовах необхідно безпосередньо виконувати засобами ГАУ ОВТ; знання закономірностей процесів та явищ у СДС, які використовують засоби технічної діагностики та контролю (ЗТДК) кожної навігаційної ситуації при управлінні рухом суден у просторі та часі; вимірювальні прилади, датчики та чутливі елементи, які розподілені у просторі та одночасно разом реєструють первинні параметри, а також похибки й шуми функціонування СДС; засоби телекомунікації, мережного зв'язку та Інтернет, які пов'язують усіх комунікантів та забезпечують оперативний обмін повідомленнями між ними в єдиному інформаційному просторі [3, 6].

З метою раціонального розподілу функцій в ергатичній (поліергатичній) системі та гарантування високого рівня функціональної стійкості управління ОВТ у складних умовах пропонується побудова спеціальної підсистеми технічної діагностики та контролю реальних станів і переходів між ними. ЗТДК у межах СДС здійснюють поточну обробку даних стосовно відповідності планової та фактичної траєкторії у єдиному інформаційному просторі. Процедури кваліфікації та класифікації у кожній навігаційній поточній ситуації потребують оптимальної обробки багатоканальних потоків даних стосовно неперервних та дискретних процесів у межах СДС.

Результати досліджень. Складність реальних динамічних систем з багатоконтурними засобами ГАУ ОВТ характеризуються: певною ієрархією координаційної взаємодії між горизонтальними рівняннями пошарової організації; паралельністю реалізації синхронних та асинхронних різномісцевих процесів у складних системах; розподіленістю учасників взаємодії та впливових чинників у просторі навколишнього середовища; збігом великої кількості обставин, що якісно та кількісно змінюють параметри поточного стану та обумовлюють відповідні переходи в інші (можливо передаварійні або аварійні) стани; ймовірністю прояву відмов техніки, різкого збільшення шуму, завад та перешкод, а також значних втрат певних ресурсів (речовини, енергії, інформації – РЕІ), що впливають на функціональну стійкість СДС [4, 5].

Таким чином, специфікація ГАУ ОВТ у зоні плавання визначається як складністю динаміки кожного учасника руху на водних шляхах зі звивистістю шляхового ходу, а також ймовірністю виникнення різного роду подій, що в залежності від моменту їх прояву майже миттєво (дискретно) змінюють динаміку СДС унаслідок структурного та параметричного варіювання. Саме це дозволяє класифікувати ГАУ ОВТ як гібридну континуально-дискретну (ГКД) модель даного складного реального об'єкта на водних шляхах судноплавства.

Реальна СДС відображається як ГКД модель, що поєднує часткові модулі різної природи. Класичні динамічні системи описуємо у вигляді систем диференціально-інтегральних рівнянь. Об'єкти з переключаємими

логіко-динамічними властивостями формалізуємо за рахунок дискретних та рекурентних моделей з відповідними кроками моделювання [6, 8]. Поведінка цілісної ГКД моделі визначається як послідовність змін станів у неперервному інтервалі системного часу. Кожний з можливих (нормальний, передаварійний, аварійний, перехідний, кризовий) експлуатаційних станів має поточну тривалість $t_{0i} \leq t_i \leq t_{0i} + T_i$ часу. Стрибокподібна зміна ситуацій $S_i \rightarrow S_j$ за стислий перехідний момент часу $\tau_{ij} \leq T_{\min i}$ визначається як дискретний процес відповідно до логіко-динамічного алгоритму (ЛДА) переходу згідно з фіксованими умовами зміни поведінки.

Повна множина зміни поведінки СДС формалізується у вигляді графу $G(B, Q)$, де вузли $b_k \in B$, $\forall_k \in \overline{1, n}$ визначають конкретний стан стосовно функції моделювання процесу поведінки за поточний інтервал T_i , а кожна гілка $q_{ij} \in Q$ визначає як ЛДА, так і результат його застосування щодо конкретного переходу $S_i \rightarrow S_j$ у просторі можливих альтернатив, які заздалегідь зафіксовані у пам'яті ПАК ГАУ ОВТ.

Вузлова модель b_k має вхідні та вихідні гілки q_{ij} , що конкретизують функціональну роль даного модуля та його вплив на інші вузли цілісної ГКД моделі.

Кожен вузол $b_k \in B$ можливо формалізувати як багатополіусник, що забезпечує відповідні неперервні перетворення параметрів поточного стану у вихідні змінні. Системна функція кожного багатополіусника спрямована на чисельне визначення вихідних параметрів, для чого розв'язуємо відповідні рівняння, коли даний вузол активізований. У цілісній ГКД моделі ГАУ ОВТ можливі активізовані та неактивізовані вузли (модулі). Неактивізовані модулі характеризують фізичні компоненти СДС, які на даному інтервалі моделювання, з різних причин, не виконують цільові функції, наприклад, задач навігації та управління рухом ОВТ у випадках відмов (виходу з ладу) конкретної частини ПАК.

У загальному випадку структурний граф СДС має вигляд:

$$G(B, Q) = \{G^0, G^1(G_{i1}^0), \dots, G^k(G_{ik}^{k-1}), \dots, G^{n+1}(G_{in+1}^n)\}, \quad (1)$$

де $G^k \cap G^l \equiv \emptyset$, $\forall(k, l) \in N$ – окремі модулі відповідного рівня організації окремої підсистеми;

$G^k(G_{ik}^{k-1})$ – граф k -го рівня, що побудований шляхом суперпозиції з-під графів $G_{ik}^{k-1}(V_{ik}^{k-1}, H_{ik}^{k-1})$ окремого графа $G^{k-1}(V^{k-1}, H^{k-1})$ нижчого $(k-1)$ -го рівня організації.

Множина $B = \bigcup_{i=0}^{n+1} V^i$ характеризує базис структурного графу, де $\sum ik$ – кількість його складових елементів. Вузли B пов'язані відношенням $B = \bigcup_{k=1}^{n+1} \bigcup_{ik=1}^l H_{ik}^{k-1}$, які можливо однозначно визначити заздалегідь для будь-якої компоненти СДС та ГАУ ОВТ. Наприклад, $G^0(V^0, H^0)$ – це нуль-граф з

вузлами $v_{i1}^1 \in V^1$, які визначені формально за допомогою підграфів $G_{i1}^0(V_{i1}^0, H_{i1}^0)$ за відношенням H_{i1}^0 на множині V_{i1}^0 . За правилами індукції при послідовності $\forall k = \overline{0, n}$ отримуємо графи k -го рангу з відповідними відношеннями. $G^k(V^k, H^k)$ – граф k -го рангу з вузлами $v_k^k \in V^k$, які визначені підграфами $G_{i(k-1)}^{k-1}(V_{ik}^{k-1}, H_{ik}^{k-1})$ у G^{k-1} з відношеннями H_{ik}^{k-1} на відповідній множині V^{k-1} , яка має ik кількість елементів у V^k множині. Конкретизація онтології графа $G(B, Q)$ дозволяє фіксувати рівень знань щодо об’єкта класу СДС. Потужність елементів графа $G(B, Q)$ породжує потужність базових множин, що відображають реальні об’єкти та мають атрибут у вигляді унікальної назви (ім’я, символ, код) та визначення як лінгвістичної змінної. Стандартний формат абстрактного опису будь-якого об’єкта має наступний синтаксичний вигляд:

<об’єкт> ::= <зовнішні зв’язки об’єкта> <внутрішні зв’язки між підсистемами> <підсистема> <підсистема α > ... <підсистема γ >;

<зв’язок> ::= <об’єкт поєднання> <опис початку (джерело) – опис кінця (термінал)>;

<об’єкт поєднання> ::= <об’єкт> <функція> <логічна умова>;

<функція> ::= <процедура реалізації поєднання>;

<логічна умова> ::= <предикат ЛДА з переключеннями та відключеннями>.

Шаблон логічної операції [7] з трійкою вихідних рішень має вигляд:

$$C_{kj} = \begin{cases} y_{k1}, & \bar{x} > \varepsilon_k \\ y_{k2}, & \bar{x} = \varepsilon_k \\ y_{k3}, & \bar{x} < \varepsilon_k \end{cases}, \quad (2)$$

де k – індекс C_{kj} процедури прийняття рішення стосовно процедур діагностики та контролю поточної ситуації на j -ому рівні функціонування ПАК ГАУ ОВТ;

y_{k1}, y_{k2}, y_{k3} – відповідно три можливих варіанти рішення, вибір одного визначається лише при виконанні конкретної умови при реалізації порівняння вхідного вектору багатомісних даних \bar{x} з граничною множиною, ε_k , яка обґрунтована та верифікована для даних формальних обставин реалізації конкретної процедури. При необхідності гранична множина ε_k може бути диференційована на більш точніші (менші) градації. Це дозволяє підвищувати глибину та точність можливих альтернатив. Гілки, що реалізують відношення Q або H_{ik}^{k-1} на відповідному k -ранзі ієрархії, як це формалізовано вище, забезпечують механізми поєднання між конкретними полюсами різних багатополісників [8], лише якщо виконуються відповідні умови за збігом багатьох обставин функціонування СДС у просторі та часі.

Формалізація неперервного потоку єдиного часу для всіх процесів, що паралельно відбуваються у СДС, дозволяє визначати послідовність часових інтервалів, наприклад:

$$T_0 \tau_0 T_1 \tau_1 T_2 \tau_2 \dots T_{n-1} \tau_{n-1} \dots, \quad (3)$$

де $T_0, T_1, T_2, \dots, T_{n-1}$ формують множину $T_i \subset T_{\text{sup}}$, яка характеризує тривалість існування гладких функцій $f_i(t)$, $\forall T_{i-1} < t \leq T_i$ з еволюційним розвитком процесів функціонування кожного з вузлів (модулів) СДС, що охоплює декілька ОВТ;

$\tau_0, \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{n-1}$ формують множину $\tau_i \subset \tau_{\text{sup}} \ll T_{\text{sup}}$, яка характеризує тривалість існування стрибкоподібних дуже швидких (дискретних) змін або переключень у вигляді фазових переходів, що здійснюються завдяки ЛДА та прийняттю формальних (автоматних) рішень [7].

Завершення інтервалу T_k та початок інтервалу τ_k реалізують ЗТДК, які шляхом аналізу динаміки параметрів, що контролюються, та використання методів прогнозу наступних подій, визначають об'єктивну реальність існування майбутнього порушення норм та допусків, що характеризують умови ефективної експлуатації як ГАУ, так і ОВТ у зовнішньому середовищі, де відбулися $z(t) \subset Z$ збурення, перешкоди, відмови або проява загроз безпеки судноплавства.

Завдяки рішенням ЗТДК визначаються не лише клас поточної прикінцевої ситуації на інтервалі T_k , а також й перелік чітких дій системної автоматики та захисту функціональної стійкості протягом дискретного перехідного процесу τ_k для гарантування досягнення цільових критеріїв, щодо ефективного маневрування ОВТ.

Запропонована формалізація фіксує розвиток динамічних процесів у часі та просторі відповідно до впливу наявних трьох визначальних підсистем СДС. Зовнішнє середовище або зона судноплавства конкретного ОВТ формує випадкові $z(t) \subset Z$ небажані й загрозливі впливи. ОВТ та ОПР реагують на ці нестаціонарні збурення і тому змушений робити активні дії для запобігання лиха у складних обставинах.

ГАУ ОВТ разом з ПАК, який реалізує функції ЗТДК, своєчасно отримує дані стосовно небажаних майбутніх відхилень від планової програмної траєкторії руху та визначає послідовність (алгоритм) швидких дискретних дій [3] для того, щоб ОВТ виконав повільні процедури маневрування та повернувся у стан нормального режиму реалізації рейсового завдання та транспортної роботи [5].

ГКД модель цілісної СДС з різними підсистемами [1] адекватно відображає події [3] у реальних складних обставинах судноплавства в конкретній зоні підвищеного ризику плавання. З цією метою алгоритми функціонування ЗТДК повинні у прискореному масштабі часу одночасно визначати [2] першопричини (поглиблену діагностику поточного збуреного стану) та прогнозні наслідки руху ОВТ. У залежності від варіантів вирішення ситуацій із запобігання аварій у складних обставинах оперативно синтезується закон автоматичного управління за час перехідного процесу. Значна різноманітність динаміки перехідних процесів дозволяє у межах ГКД моделі ефективно моделювати на базі застосування диференціальних перетворень функцій і рівнянь за нелінійними параметрами [8, 9].

Особлива увага приділяється логічним предикатам відображення знань стосовно процедур узагальнення цілісних фрагментів деталізованого моделювання та процедур прийняття рішень [2] за шаблонами <якщо {ε ситуація}, тоді {активізуються перелічені дії}>. Заміна графових моделей (1) стосується як вузлів B , так і гілок Q , що в цілому характеризують робочу розрахункову модель із забезпеченням усіх вимог щодо ефективності моделювання при розв'язанні задач діагностики та контролю змінних навігаційних ситуацій при реальному ухиленні суден у складних обставинах руху багатьох ОВТ.

Таким чином, ГКД модель СДС з декількома конфліктуючими між собою ОВТ дозволяють адаптуватись до поточних умов та збігу складних обставин. Діагностика, прогноз та контроль за багатьма параметрами дозволяють структурувати опис складної поведінки учасників руху та своєчасно й гарантовано визначити моменти τ_k стрибкоподібних дій, що забезпечують зміну параметрів стану й запобігання зіткнень та аварій. Але такі показники результуючої ефективності досягаються лише за рахунок функціонування системи технічної діагностики та контролю ключових параметрів навігаційної ситуації (дистанція між конфліктуючими ОВТ, швидкостями та курсами їх руху, поточні обмеження тощо) при управлінні рухом судна, яке маневрує для запобігання лиха та забезпечення безпеки плавання.

Висновки.

1. Безпека руху об'єктів водного транспорту суттєво залежить від багатьох факторів, включаючи збіг обставин у зовнішньому та внутрішньому середовищах, які значно змінюються та мають певну невизначеність особливо у зонах підвищеного ризику плавання.

2. Сучасні засоби навігації та управління рухом суден не задовольняють вимог раціонального розподілу функцій між людиною-оператором та автоматом у вигляді програмно-апаратних комплексів навігації і управління рухом, кількість яких зростає, що спричиняє додаткові навантаження на людину.

3. Підвищення рівня безпеки руху та суттєве зменшення «навігаційно-людських» аварій можливо забезпечити шляхом раціонального розподілу функцій за умов упровадження спеціалізованої підсистеми технічної діагностики, прогнозування та контролю поточних ситуацій разом із засобами гарантовано-адаптивного управління рухом суден, швидкодія яких задовольняє вимоги на реалізацію оперативного реагування й маневрування рухом ОВТ у складних обставинах, що ситуативно варіюються та змінюються.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лукомский Ю.А. Навигация и управление движением судов: учебник / Ю.А. Лукомский, В.Г. Пешехонов, Д.А. Скороходов. – СПб.: «Элмор», 2002. – 360 с.

2. Гофман-Велленгоф Б. Навігація. Основні визначення місцеположення та скеровування / Гофман-Велленгоф Б., Легат К., Візер М.; пер. з

англ. за ред. Я.С. Яцківа. – Львів: Львівський національний університет ім. Івана Франка, 2006. – 443 с.

3. Баранов Г.Л. Телекомунікаційні технології на транспорті: навч. посіб. / Г.Л. Баранов, П.Р. Левковець. – К.: НТУ, 2007. – 448 с.

4. Машков О.А. Методы построения функционально устойчивых сложных динамических систем : збірка наукових праць у трьох томах міжнар. наук.-практ. конф. [«Інтелектуальні системи прийняття рішень та прикладні аспекти інформаційних технологій ISDMIT`2007»]. – Євпаторія, 2007. – С. 184-186.

5. Баранов Г.Л. Концепція побудови функціонально стійкого навігаційного обслуговування об'єктів водного транспорту в зонах підвищеного ризику плавання / Баранов Г.Л., Тихонов І.В. // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІНУ, 2009. – Вип. 2 (10). – С. 17-21.

6. Баранов Г.Л. Структурное моделирование сложных динамических систем / Г.Л. Баранов, А.В. Макаров. – Киев: Наукова думка, 1986. – 272 с.

7. Кормен Т. Алгоритмы: построение и анализ / Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р. – М.: МЦНМО, 2000. – 960 с.

8. Пухов Г.Е. Дифференциальные преобразования функций и уравнений / Пухов Г.Е. – К.: Наукова думка, 1980. – 419 с.

9. Пухов Г.Е. Фомализация перехода к чебышевскому базису в дифференциально-тейлоровских преобразованиях / Г.Е. Пухов, Ю.В. Корольов // Электронное моделирование. – 1988. – Вып. 10, № 3. – С. 89–91.

Баранов Г.Л., Носовский А.М., Васько С.М. СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ И КОНТРОЛЯ НАВИГАЦИОННОЙ СИТУАЦИИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ДВИЖЕНИЕМ СУДОВ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ

В статье проводятся исследования, направленные на построение системы гарантированного адаптивного управления объектами водного транспорта с обеспечением ее функциональной стойкости в сложных обстоятельствах. В пределах предлагаемой системы решается задача рационального распределения функций между оператором как лицом, которое принимает решение, и автоматом как прогрессивным бортовым многофункциональным комплексом навигации и управления движением судов.

Ключевые слова: объекты водного транспорта, адаптивное управление, функциональная стойкость, сложные динамические системы.

Baranov G.L., Nosovskii A.M., Vasko S.M. THE SYSTEM OF TECHNICAL DIAGNOSTICS AND MONITORING OF THE NAVIGATIONAL SITUATION IN THE MANAGEMENT OF VESSEL TRAFFIC UNDER COMPLICATED CONDITIONS

Investigations aimed at creating the system of guaranteed adaptive control of water transport facilities providing its functional reliability under complicated conditions are given in this paper. Within the frames of the proposed system the problem of rational distribution of functions between the operator, as a particular decision maker, and automatic, as a progressive multifunctional on-board set of navigation and vessel traffic management is solved. Key words: water transport facilities, adaptive control, functional reliability, complex dynamic systems.