

УДК 656.61.052:001.895

ERGATIC INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR VESSEL TRAFFIC MANAGEMENT

ЕРГАТИЧНІ ІНОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ РУХОМ СУДЕН

¹ G. L. Baranov., DSc, professor, ² I. V. Tykhonov, PhD, senior research worker, captain

¹Г. Л. Баранов, д.т.н., професор, ²І. В. Тихонов, к.т.н., старший науковий співробітник, к.д.п.

¹National Transport University, Ukraine

²State Inspection of Ukraine on security in maritime and river transport, Ukraine

¹Національний транспортний університет, Україна

²Державна інспекція України з безпеки на морському та річковому транспорті, Україна

ABSTRACT

The paper defines the methodological fundamentals of construction of ergatic innovative technologies for vessel traffic management in a no stationary conditions are defined. Proposed to change the distribution of functions on the boundary of the human-machine interface in accordance with standard, critical and emergency modes of navigation. It is proved that the emergency procedure of impulse realizations of anti-crisis measures to guarantee the recovery of a navigation condition in the safe navigation area.

Keywords: navigational safety, integrated management, dynamics of interaction, human-machine interface, functional stability.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями

Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні суттєво впливають на функціонування усіх сегментів сучасного суспільства, враховуючи зростання масштабів та глобалізації транспортної роботи.

Безпеки життя членів екіпажів, пасажирів та збереження вантажів, збереження навколишнього середовища та економічна привабливість водного транспорту значно залежить від технології управління суден, особливо під час загрозового впливу нестационарного зовнішнього навколишнього середовища (ЗНОС). В умовах сучасних змін вимог до кожного водного транспортного засобу (ВТЗ) подальший розвиток інтелектуальних транспортних систем (ITS) є актуальним для розробки та впровадження інноваційних інтелектуальних технологій (ІТ) [1-7].

Обґрунтування проблеми

Значне різноманіття факторів впливу ЗНОС на корпус і на внутрішні елементи будь-якого ВТЗ підвищує вимоги до технологій управління рухом суден на всіх етапах його життєвого циклу (ЖЦ) від проектування, будівництва, насичення механізмами та обладнанням, налагодження до усіх процедур експлуатації на різноманітних акваторіях змінного просторово-часового континуума (ПЧК). Значну складність кожного ЖЦ конкретного ВТЗ обумовлює ергатичну (людина-машинну) організацію відповідної технології управління рухом суден згідно проблеми ефективно-раціонального розподілу функцій в межах ієрархічних ITS. Людський фактор на кожному рівні вертикальної ієрархії та на відповідному шарі горизонтальної ієрархії реалізує функції формування команд управління за допомогою комп'ютерних засобів, необхідних підсистем підтримки прийняття рішень (СППР). Виконавчі функції реалізації оперативного закону поточного управління реалізує узагальнена машина (засоби механізації, автоматизації, комп'ютеризації, інтелектуалізації).

Аналіз стану проблеми та виділення невирішених раніше питань

Результативність традиційного розподілу функцій управління між людиною (оператором – інтелектуальним агентом системи – IAS \in ITS) та машиною (комп'ютерна та автоматизована система) характеризує щорічна міжнародна та вітчизняна статистика транспортних подій, аварій, катастроф. Тобто вочевидь проблемне протиріччя між значними зусиллями багатьох вчених, конструкторів, виробників та екіпажів суден в усіх країнах, пов'язаних з використанням суден на морських та річкових шляхах, і незадовільним рівнем безпеки руху ВТЗ в нестационарних умовах впливу факторів ЗНОС. Тому для ефективного взаємозв'язку IAS \in ITS та IAS \leftrightarrow ВТЗ необхідно розробити інноваційні технології, моделі, методи та інтелектуальні засоби захисту якості функціонування людини-оператора складній динамічній системі (СДС), де можливі обставини виходу з безпечної області навігації (БОН) та наближення або входу до небезпечної області навігації (НОН) [3,4,6].

Формулювання мети роботи та постановка задачі

Мета роботи полягає в конструктивній інноваційній технології управління рухом суден шляхом завчасного ситуаційно обумовленого перерозподілу функцій та ресурсів між IAS єдиної поліергатичної (мультиагентної-мережної-розподіленої у ПЧК) ITS. На інтервалі часу боротьби антикризових (направлених на запобігання катастроф) засобів з факторами ЗНОС з метою гарантування функціональної стійкості кожного IAS (включаючи відмову чи відключення чи втрату окремого елемента – фрагмента мережі) наявні ресурси поліергатичної виробничої організації (ПЕВО) завчасно реалізують необхідні процедури екстреної, коротко часової, надзвичайної реорганізації з необхідним перерозподілом функцій СППР та імпульсної реалізації конкретних дій за допомогою механізмів узагальненої машини ITS [5,7].

Постановка задачі визначає існування СДС у трьох різнотемпових фазових станах. Перший стан характеризується нормальним, нормативним

режимом експлуатації, коли акваторія судноводіння разом зі ЗНОС не має загроз, завад та збурень, ВТЗ не має аварійних станів, людина-оператор не знаходиться в стресовому стані. Рух ВТЗ реалізується заданим маршрутом, відповідно плану рейсу. Системи спостереження, навігації, телекомунікаційного зв'язку та автоматики працюють в штатному режимі [6].

Другий стан виникає коли засоби розподіленої системи технічної діагностики та контролю поточних процесів формують сигнал «Увага! За означених причин ... можливий загрозливий наслідок» [2].

Третій стан характеризується безпосереднім реагуванням всіх інноваційних та традиційних засобів гарантування безпеки руху ВТЗ у зоні підвищеного ризику подій (ЗПП) коли фактор ЗНОС обумовлюють наближення НОН або втрати ресурсів конкретного ергатичного поста [3].

Відповідно означеним фазовим станам робота засобів гарантованого адаптивного управління (ГАУ) виконавчими органами ВТЗ змінюється. Поточна адаптація відбувається покровоко, завчасно та упереджуючи до запасу міцності – гарантуванню віддалення на задану відстань від меж НОН [5,7].

Викладення матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Основний матеріал присвячено другому та третьому фазовим станам, коли сенсори, датчики та вимірювальні засоби сигналізують про відхилення від нормативних дозволів коливання режимних параметрів ключових підсистем, агрегатів, механізмів та елементів СДС.

Формалізація сутності, особливості та специфіки СДС.

Парадигма причинно-наслідкових взаємовідношень між складовими частинами та компонентами СДС відображена на рисунку 1 у ситуації досягнення ризикового значення дозволеної граничної відстані між об'ємним корпусом ВТЗ та границею-фронтом загрозливих збурень і завад НОН зі значенням <Увага! Загроза ризикованого контакту>.

Саме ці дані отримує ІАС-ОПР (особа, що повинна приймати рішення) на відповідному вікні-екрані його автоматизованого робочого місця (АРМ) ITS, де також вказаний часовий ресурс – тривалість часу $\Delta \tau$ на необхідну ситуативну процедуру прийняття рішення саме цим ІАС_i. Паралельно та одночасно автоматика автоматичного динамічного адаптера (АДА) ініціює дії автоматів вище та нижче даного рівнів ієрархії єдиної розподіленої підсистеми технічної діагностики та контролю (СТДК). На підлеглому нижньому рівні автоматично виконуються процедури більш точного та більш детального оцінювання ключових параметрів, які були спроможні за даний відображений візуально висновок.

На наступному вищому рівні ієрархії ПЕВО ITS автоматика АДА активізує означення ступеня ризику прогнозованого стану у випадку зростання розвитку загрозливого явища.

інформаційно-образних динамічних моделей (ІОДМ), за якими працюють комп'ютерні програмно-апаратні комплекси (ПАК) цілісної ITS та бортові інформаційно-коригуючі комплекси (БІКК).

Згідно запропонованої концепції інноваційної інтеграції інформаційних потоків у ПАК, АДА_i та АДА_j, $\forall_i = \overline{1, I}$, $\forall_j = \overline{1, J}$, що знаходиться у спільній ЗПРП та кожний вживає заходів на власну безпеку руху. У ЗПРП в означеному ПЧК можливі наступні види CNS/VTM технологій реалізації двобічних зв'язків між відправниками та отримувачами повідомлень. На рисунку ці канали та відповідні інтелектуальні інтерфейси позначені таким чином.

$D_i \leftrightarrow H_i$, $(D_j \leftrightarrow H_j)$ – «диспетчер – судноводій (оператор ВТЗ)».

$D_i \leftrightarrow D_j$ – «диспетчер однієї зони обслуговування – диспетчер іншої ЗПРП».

$H_i \leftrightarrow H_j$ – «зв'язок між операторами різних ВТЗ, що маневрують на спільній акваторії та ризиковано наближуються».

$M_i \leftrightarrow M_j$ (БІКК_i ↔ БІКК_j) – «зв'язок між машинами через ПАК для автоматичного ситуативного узгодження траєкторних параметрів одночасних рухів на високих швидкостях із гарантуванням запобігання зіткнень, аварій та катастроф».

$D_i \leftrightarrow АДА_{ki}$, $(D_j \leftrightarrow АДА_{kj})$ – «диспетчер отримує дані відповідних СППР для безаварійного реагування у поточних екстремальних ситуаціях дії природних та/або соціально-технічних факторів ЗНОС».

$АДА_{ki} \leftrightarrow M_i$, $(АДА_{kj} \leftrightarrow M_j)$ – «автоматичний зв'язок між різними за розподілом функціями ПАК, БІКК та СТДК».

$АДА_{ki} \leftrightarrow H_i$, $(АДА_{kj} \leftrightarrow H_j)$ – «ергатичні контури зв'язку з операторами ВТЗ (i та j) для гарантування якості перехідних процесів запобігання зіткнення та відновлення режиму продовження безпечного руху у нормальних БОН ситуаціях».

$АДА_{ki} \leftrightarrow АДА_{kj}$ – «автоматичний зв'язок між інноваційними спеціальними автоматами на випадок можливих похибок чи помилок людини-оператора, коли необхідно завчасне відновлення якості режимів реагування».

Принципово, що усі вищеозначені види зв'язку та відповідні інтерфейси можливо випробувати та удосконалювати існуючими засобами імітаційного моделювання телекомунікаційних діалогів. Для вирішення комплексних задач забезпечення безпеки руху ВТХ у ЗПРП з урахуванням потоків відмов чи похибок у словах-повідомленнях ПАК АДА_k зв'язується безпосередньо з необхідними агентами (джерелами необхідних знань).

Відповідний багатоканальний інтелектуальний інтерфейс підтримується засобами захисту інформації.

Самонавчання в умовах експлуатації інноваційних технологій гарантованого адаптивного управління рухом суден.

Під час експлуатації наявних ПАК для відповідних АРМ та рівнів ієрархії навігаційного, геоінформаційного, погодно-кліматичного та маршрутно-рейсового обслуговування режимів транспортної роботи суден в конкретних акваторіях судноводіння в пам'яті комп'ютерів АДА накопичуються об'єктивні

фактичні таблиці та статистичні дані. Своєчасна поетапна обробка часових рядів, що характеризують параметри режимів руху суден та їх обслуговування дозволяє знайти засобами Data Mining реальні закономірності.

Визначення цих об'єктивних закономірностей для конкретного вузла поліергатичної організації дозволяє додатково методами упередженого прогнозування майбутніх подій підвищити ефективність технології ГАУ. Замкнутий контур управління по багатьом каналам реалізується за одним принципом. Прямий канал від сенсорів, датчиків та інформаційних засобів оцінювання поточної динаміки фактичних значень формує сприйняття – візуалізацію ІОДМ стосовно порівнянню її спектральних складових з нормативно дозволеними значеннями. Відповідна міра відхилення між плановими завданнями та фактичними результатами реалізації визначає тип, вид, клас механізму реалізації нового поточного завдання.

Досвід експлуатації засобів навігації свідчить, що найбільша кількість помилок ОПР-ІАС (приблизно 53%) припадає на процедури прийняття рішень стосовно планування програми робіт.

На процедури сприйняття сутності ситуації, тобто розпізнання-розділення припадає приблизно 32% багатовимірних даних з реальними шумами. Таким чином вочевидь інноваційною є технологія, яка знімає з оператора саме ці задачі. При цьому вони розв'язуються засобами автоматики відповідними алгебраїчними методами в залежності від вхідних потоків вимірюваних величин в просторі високої розмірності.

Таким чином статистика кількості аварій та потенційно аварійних подій, яку на цей час інтерпретують як «людський фактор», в новому розподілі функцій на межі людино-машинного інтерфейсу (ПАК) кожного АРМ операторів ПЕВО ІТS є механізмом самоадаптації та гарантування якості диспетчерського обслуговування різноманітних ВТЗ у ЗППП.

Об'єктивна надзвичайна складність сучасних поліергатичних вузлів ІТS в пропонуємії інноваційній технології спрямовує увагу на джерела причинності помилок людини-оператора. Кожна ОПР-ІАС працює через термінальне обладнання (комп'ютеризовані пульти з дисплейно-екранним відображенням та «клавіатурою» - засобами вводу реакції людини як завдання на негайне виконання.

Саме такий механізм взаємодії людини, яка сприймає візуалізовану на дисплеях деталізовану ситуацію в надзвичайних екстремальних умовах та якомога швидко реагує, є основою для визначення моделі оператора у вигляді нелінійного функціонального перетворювача m вхідних груп даних у k вихідних дій оператора. Практично у кожному часову мить виконується нерівність $k \ll m$, тобто людина фільтрує різноманіття вхідного потоку та одночасно обирає мінімальні дії в районі точки неперервного позиціонування $X \in \text{БОН}$, забезпечуючи мажорювання відстані між $x_i \in X$ та точкою $y_{ij} \in Y \in \text{НОН}$ для всій послідовності $\lim_{k,m} \rho(x_k, y_m) > 2\varepsilon$. В означених умовах x_i та y_{ij} є найближчими точками двох різних просторів. Множина $X \in \text{БОН}$ характеризує точку корпусу

ВТЗ на акваторії судноводіння у межах габаритної смуги руху, де виконуються умови життя та безпеки руху у зоні БОН.

Множина $Y \in \text{НОН}$ характеризує окіл – межі лімітуючих обставин (загроз, заборон, збурень та інших об'єктів) за критеріями безпеки руху водного транспорту. Слід підкреслити, що вектор швидкості наближення корпусу ВТЗ до загрозового об'єкту залежить від взаємних векторів швидкості точок x_i та u_m особливо коли множина $y_{ij} \in Y$ характеризує рух загрози назустріч. Наприклад інші ВТЗ, дрейфуючі об'єкти, крижані поля в умовах сильної течії та вітру. Нерухомі об'єкти (несприятливий рельєф дна, кам'яні скелі, дамби, опори мостів, лінії електропостачання, трубопроводи та багато інших) ускладнюють судноводіння в відповідних локальних місцях навігації. Для усіх випадків відстань $\rho(x_k, u_m)$ між позицією корпусу ВТЗ та загрозою змінюються. Попереджуваче відображення послідовності $\lim_{k \rightarrow \infty} \rho(x_k, u_m)$ на інтервал Δt прогнозного часу не лише надає відображення динаміки безпечної зони навігації до змінної позиції даного судна, а також дозволяє СППР встигнути відобразити варіанти безпечного маневрування без критичного зближення, зіткнень, аварій. За таких умов розподілу функцій між автоматикою ПАК АДА людина-оператор спроможна безпомилково, надійно, гарантовано приймати рішення та реалізовувати раціональні режими маневрування у локальному ПЧК.

В означеній технології автоматизації та інтелектуалізації саме для умов $k \ll m_{\text{вх}}$, коли переважає надлишковість, збитковість потоків більшості m вхідних даних про СДС в ЗПРП та одночасно відсутні надзвичайні випадкові ризики тому, що умови експлуатації кваліфіковані як нормальні (типові, звичайні, штатні), всі ці обставини гарантують високу надійність роботи людини-оператора на вахті. Дійсно в цих ситуаціях майже все трудомістке робить автоматика, комп'ютери, електронні технологічні підсистеми. Тому необхідні операції людини в контурі оперативного управління (за умов $k \geq 0$, або ≈ 1 чи 2) виконує своєчасно, послідовно, без порушень регламентів у повільному комфортному темпі з урахуванням можливо високої швидкості руху ВТЗ.

Все різко змінюється, якщо практично той самий потік $m_{\text{вх}}$ вхідних даних стрибкоподібно генерує (формує, активізує, хаотизує) інші сигнали, що не є штатними, надзвичайні, екстремальні, невідповідні прогнозованому режиму. Оператор входить в ситуацію «пастки», коли загрози некерованого, аварійного розвитку, запізнення з прийняттям антикризових рішень практично наближають катастрофу. Але, якщо дана практична унікальна в конкретних формах реального різноманіття збігу обставин ситуація попередньо не була завчасно спрогнозована засобами автоматики разом з інформаційно-телекомунікаційними засобам, тоді ця ситуація «пастки» поки ще не є помилкою вахтового оператора. Він в цю мить лише починає приймати рішення з забезпечення безпеки руху та життя в цілому. Саме зараз в час розвитку надзвичайних, екстремальних, аварійних ситуацій значна роль, як й в нормальних режимах, відведена всім засобам автоматики, включаючи бортові

та берегові ресурси ITS. Новий інтервал часу перехідних аварійних та антикризових процесів вимагає екстреної мобілізації, найшвидшої реорганізації та першочергового акту дій відповідно заздалегідь регламентованих для конкретного класу подій. Приоритетно повинна спрацювати автоматика захисту засобів життєдіяльності та живучості ГАУ рухом ВТЗ [7].

В цих умовах заздалегідь змодельованих аварійних, екстремальних ситуаціях також накопичуються узагальнені дані стосовно типу, класу поняття «ситуація та її ІОДМ», яка послідовно, по чергово означена актами конкретних дій певної інтелектуальної мережі, в якій людина-оператор приймає та реалізує такі дії до тих пір, поки не буде завершений антикризовий перехідний процес з результуючим відновленням кінцевого нормального стану для продовження руху ВТЗ в зоні БОН. Така ланцюгова описана послідовність актів взаємодії на ергатичному та чисто машинно-електронному рівнях може бути корисною у випадках появи аналогічних чи частково та неповністю аналогічних ситуаціях гарантування безпеки руху й життя. За рахунок самонавчання згідно нового розподілу функцій на межі людино-машинного інтелектуального інтерфейсу накопичені та верифіковані (опробовані на процедурних тренажерах і частково на практиці в умовах реальної експлуатації) знання закономірностей компенсації впливу факторів (відмови, дефекти, руйнування, пожежі, аварії, колізії конфліктів та інші порушення штатних режимів) ЗНОС дозволяє левову найбільш високошвидкісну частину реалізувати автоматизованими методами. Одночасно людина-оператор відповідає за власні нормативні функції у межах конкретних ПЕВО ITS. Рівні надійності, живучості та функціональної стійкості ергатичних контурів ієрархічного управління гарантується адекватним, ситуативним чином завчасного відновлення працездатності за рахунок ресурсів та надлишковості експлуатуємої інноваційної поліергатичної розгалуженої системи.

В усіх випадках, які відбуваються на практиці та обумовлені неспроможністю людини виконувати регламентні дії, що виявляє ПАК СТДК та автоматично виключає його на певній інтервал часу з конкретного контуру ГАУ. Автоматично включається дублер-робот-автомат і цим забезпечується якість проходження аварійних різномісних перехідних процесів, які завершуються входженням у стан продовження рейсу заданим маршрутом після подолання ЗПРП та роботи у БОН.

Таким чином запропоновані ергатичні інновації технології управління рухом судна в умовах подолання реальних ризиків наближення аварій та катастроф завдяки адаптивних динамічних адаптерів здатні завдяки методам самонавчання, самоорганізації та реконфігурації змінювати розподіл функцій на межі людино-машинного (ЕОМ) інтелектуального інтерфейсу. Що в свою чергу гарантує рівень безпеки руху ВТЗ при загрозливих факторах впливу нестационарного ЗНОС. Завчасний швидкий автоматичний, адекватний поточній ситуації перерозподіл функцій повністю використовує властивості природного та штучного інтелектів ITS в нормальних, передаварійних та надзвичайних режимах експлуатації конкретних ВТЗ.

Висновки та перспективи подальшої роботи за даним напрямом

В роботі сформульовані методологічні основи побудови ергатичних інноваційних технологій управління рухом суден шляхом завчасного ситуаційно-обумовленого перерозподілу функцій та ресурсів між людиною та електронною машиною в єдиній поліергатичній виробничій організації ITS.

Результативність, швидкість та функціональна ефективність гарантованого адаптивного управління рухом судна конструктивно досягається шляхом відповідних змін форм взаємодії між оператором на вахті та ЕОМ в контурах управління. В нових динамічних ситуаціях на інтервалі часу боротьба інноваційних антикризових засобів з реальними поточними факторами ЗНОС забезпечується гарантуванням функціональної стійкості та реалізації необхідних процедур екстреної, короткочасової та імпульсної реалізації позачергових дій по відновленню стану безпечної області навігації.

Існуючі інформаційні технології з мультіагентними процедурами збору, накопичення та адаптивною обробкою часових рядів формують базові умови для режимів функціонування засобів пропонуємого гарантованого адаптивного управління рухом суден в нестационарному середовищі.

В умовах сучасних змін вимог до кожного ВТЗ подальший розвиток інтелектуальних транспортних систем є актуальним на час розробки та впровадження інноваційних інтелектуальних технологій, тому зазначені роботи в напрямку побудови ергатичних інноваційних технологій управління рухом суден будуть продовжуватися.

ЛІТЕРАТУРА

1. Aviation Accident Statistic [Electronic resource] / National Transportation Safety Board – Mode of access: www.nts.gov/aviation/htm . Last access: 2012. Title from the screen.
2. http://ieeexplore.ieee.org/xlp/freeabs_all.jsp?urnumber=603663 [Electronic resource] Wang S. Study on pre-control of non-power vessels based on risk assessment/systems. Man, Cybernetics (SMC), 2011 IEEE International Conference, China, 9-12 Oct.2011, pp.184-188.
3. IMO Resolution A.817(19) adopted on 23.11.1995. Performance Standards for Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS). P.15.
4. Баранов Г.Л. Аналіз термінальних умов руху високошвидкісних транспортних суден /Баранов Г.Л., Тихонов І.В., Банішевський С.А.// Системи управління навігації та зв'язку. – К: ЦНДІНіУ. 2008. – вип. 4.- С. 8-11.
5. Баранов Г.Л. Аналітичний зв'язок навігаційних параметрів стану і сигналів адаптивного управління на програмних траєкторіях руху високошвидкісних транспортних засобів /Баранов Г.Л., Тихонов І.В., Банішевський С.А.// Системи управління навігації та зв'язку. – К: ЦНДІНіУ. 2008. – вип.3 (7).- С. 19-23.

6. Вагущенко Л.Л. Современные информационные технологии в судовождении /Вагущенко Л.Л./ Одесса: ОНМА. 2013. – 135 с.
7. Тихонов І.В. Оцінювання функціональної стійкості навігаційного обслуговування рухомих об'єктів в районах плавання з обмеженими габаритами /Тихонов І.В.// «Розвиток наукових досліджень 2009» Матеріали п'ятої міжнародної науково-практичної конференції. – м. Полтава, 23-25 листопада 2009 р.: – Полтава: вид-во «ІнтерГрафіка». – 2009. – Т.8. – С. 82-85.