

УДК 627.71:656.62

Г.Л. Баранов<sup>1</sup>, В.Л. Міронова<sup>2</sup>, Г.Г. Соболевський<sup>3</sup>, І.В. Тихонов<sup>3</sup><sup>1</sup> ДП «Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління», Київ<sup>2</sup> Національний транспортний університет, Київ<sup>3</sup> Київська державна академія водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича - Сагайдачного, Київ

## РАЦІОНАЛЬНИЙ РОЗПОДІЛ ФУНКЦІЙ В ЕРГАТИЧНИХ СИСТЕМАХ НАВІГАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ РУХОМ ВИСОКОШВИДКІСНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ З МЕТОЮ ГАРАНТУВАННЯ ПІДВИЩЕНОГО РІВНЯ БЕЗПЕКИ У КРИЗИСНИХ СИТУАЦІЯХ

Запропонована новітня технологія гарантування безпеки руху високошвидкісних транспортних засобів. Розроблено метод пошуку послідовності операцій трансформування стану з високим рівнем ймовірності аварії у стан без аварії. Доведено, що синергетичний ефект цілеспрямованої взаємодії інтелектуальних агентів ергатичної системи виникає лише за чітко визначених умов реалізації необхідних та достатніх функцій покрокового віддалення від загроз аварії у конфліктних ситуаціях.

**Ключові слова:** навігація, управління, рух, транспортні засоби, інтелектуальні агенти, конфлікт, загроза аварії, розподіл функцій, гарантування безаварійності.

### Вступ

Актуальність розвитку професійної підготовки операторів складних технічних систем обумовлена накопиченням протиріч між теорією та практикою експлуатації різноманітних ергатичних (людина-машинних) засобів забезпечення безпеки руху на транспорті. Дійсно, відомо, що незважаючи на значні зусилля закордонних та вітчизняних вчених, проєктантів, інженерів, технологів, фахівців з професійної підготовки операторів для високошвидкісних транспортних засобів (ВТЗ), а також оснащення транспортних засобів сучасними технічними засобами, до цього часу рівень аварійності на транспорті кардинально не знижується. Соціум розвинутої цивілізації на базі поліергатичних виробничих організацій (ПЕВО) з різноманітними видами ВТЗ (космічні, повітряні, водні, наземні, підводні, підземні та гібридні) суттєво втрачає найцінніші ресурси при катастрофічних подіях. Життя членів екіпажу та пасажирів, цінний вантаж, витрати на транспортні роботи та на ліквідацію наслідків аварійної події, екологічного забруднення довкілля, імідж перевізника тощо – все це залежить від того, чи перетвориться потенційна аварія у катастрофу.

**Сучасний стан досліджень** Аналіз сучасного стану досліджень за напрямом безпеки руху ВТЗ та підготовки операторів, що оперативно приймають різноманітні рішення у поточних експлуатаційних умовах, які неперервно змінюються, показує, що на кінцевий результат – безаварійний рух та забезпечення транспортної роботи – впливають багато різноманітних факторів та чинників. Вони класифікуються на природні, соціотехнологічні, людські (персонально-особисті)

та інтегровані засоби управління об'єктами зі складною взаємодією між компонентами єдиної системи. Саме підвищення складності єдиної системи стимулює поглиблення досліджень за окремими частковими напрямками, кількість яких зростає [1 – 5].

Наприклад, особливості гідродинаміки суден та відповідних законів управління ними для водного транспорту були досліджені Воробйовим Ю.Л., Горбом С.І., Міусовим М.В., Некрасовим В.О., Сізовим В.Г. та багатьма іншими вітчизняними та закордонними вченими. Навігаційна безпека та її складові часткові задачі розв'язувались у роботах Олексійчука М.С., Алексішина В.Г., Беляєвського Л.С., Бень А.П., Вагущенко Л.Л., Гладкіх І.І., Кошового А.А., Кошового В.М., Мальцева А.С., Цимбала М.М. Але у багатьох державах світу рівні техніки, технології, автоматизації та підготовки конкретних професійних операторів суттєво змінилися особливо за попередні 20 років.

Інноваційні зміни у радіоелектронній техніці, інформаційних технологіях, теорії та практиці автоматизованого (ергатичного) управління впливають суттєво на характер професійної роботи кожного оператора ПЕВО. Розвинена ієрархічна організація, спеціалізація та уніфікація видів роботи (операційних актів) у поточних змінних умовах [6, 7] потребують уваги до гарантування необхідного рівня безаварійності.

**Постановка задачі.** Резонансні аварії зі значними негативними наслідками формують нагальну потребу практично стовідсоткового гарантування безпеки руху ВТЗ у стислих часових та просторових предаварійних умовах. Проблемна задачна система формується як пошук інноваційної технології за-

безпечення функціональної стійкості кожного ВТЗ, які при виконанні транспортної роботи за плановим маршрутом входять у зону підвищеного ризику подій (ЗПРП) з імовірністю, яку підтверджує міжнародна статистика аварій.

Функціональна стійкість ПЕВО залежить від кожного взаємопов'язаного рівня (вищого та нижнього рангів) ієрархічної організації, де ключову роль грає раціональний розподіл функцій у відповідних ергатичних постах систем навігації та управління рухом ВТЗ. Значні порушення на межі людино-машинної взаємодії (НМІ – Human Machine Interface), які природні у сучасних умовах функціонування транспортної галузі, неповинні за причинно-наслідковими ланцюгами обумовлювати аварійні чи катастрофічні події. Забезпечення у цьому сенсі функціональної стійкості (майже 100% безаварійності з катастрофічними наслідками) є актуальною, своєчасною, науково-прикладною задачею, яка ще не розв'язана у вигляді конструктивної технології гарантування безпеки руху ВТЗ.

### Основний матеріал

У складних динамічних системах (СДС) існування фактичних ЗПРП обумовлено природними наслідками значного ускладнення взаємозалежності різноманітних процесів. До складу СДС належать ПЕВО, технологічно єдині транспортні організації

(ТЕТО), технологічні інформаційно-управляючі системи (ТІУС) з диспетчерською ієрархією організації та обслуговування руху ВТЗ, на борту яких ключова роль належить штурманам (пілотам, водіям). Кожна реальна ЗПРП СДС у масштабах існуючого транспортно-дорожнього комплексу (ТДК) фактично відображається як суттєвий вузол, де перетинаються різноманітні транспортні потоки, що реалізуються на мережі ТДК, що відчуває впливи природного та соціального середовища.

Ергатичні системи навігації та управління рухом (СНУР) ВТЗ обслуговують такі ЗПРП на ТДК, але значне зниження показників аварійності потребує новітнього перерозподілу функцій між кожним рівнем (рис. 1) ієрархічної організації гетерогенної ПЕВО, а також між оператором і програмно-апаратними комплексами (ПАК), диспетчерськими центрами ТІУС та бортового обладнання ВТЗ.

Перерозподіл функцій на межі взаємодії гетерогенних підсистем (людини та машини) обов'язково стимулює наступні напрями самоорганізації процесів функціонування СНУР ВТЗ (табл. 1). До них за принципами синергетики ПЕВО належать:

1) пошук поки що невідомих фундаментальних явищ, процесів, полів, технологій, що сприяють еволюційному підвищенню ефективності засобами самоорганізації;

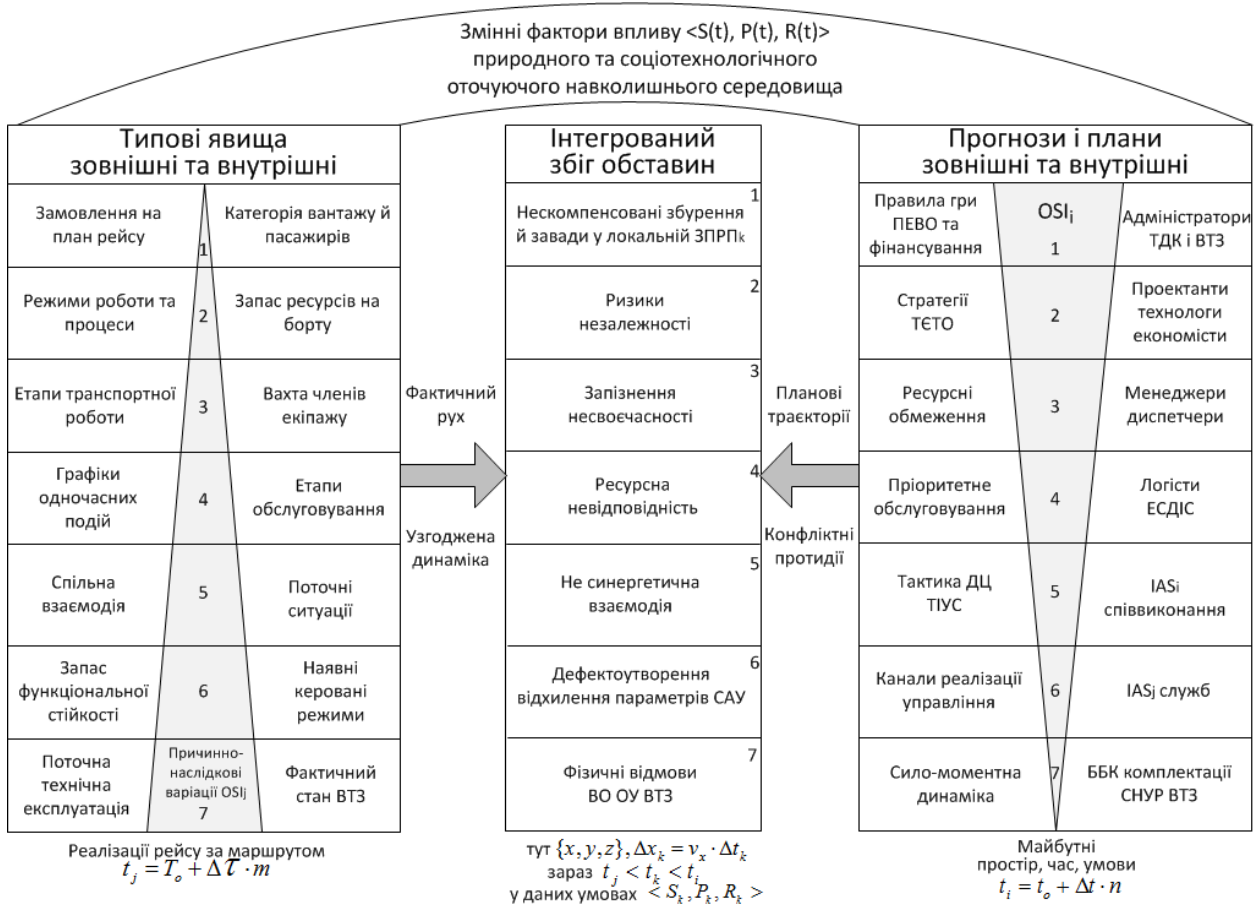


Рис. 1. Структурна концепція перерозподілу функцій для адаптації СНУР ВТЗ до реальних впливів у локальній ЗПРП на рух ВТЗ

Таблиця 1

Причинно-наслідкові взаємозалежності між попередніми і наступними етапами комплексного управління умовами руху ВТЗ та режимами керування їх робочими органами

Етап	Технологічно-підготовчі роботи у транспортній інформаційно-управлюючій системі			Особливості виконавчих задач управління рухом ВТЗ та гарантування безпеки транспортної роботи	
	Режим руху	Цільове призначення	Вид завдання	Зовнішні обмеження та фактори впливу	Внутрішні ресурси та режими керування
1. ЕВС	Актуалізація моделей за потребами	Формування та порівняння комерційних заказів	Розподіл функцій та замовлень	Властивості маршруту та природно-кліматичних умов	Кількість ВТЗ та їх обмеження
2. Прогноз	Обґрунтування визначальних обмежень	Прогнозування динаміки подій	Оцінка майбутніх ситуацій	Тренди та зміни зовнішніх факторів	Технічні стани корпусу, двигуна, керма
3. План	Враховання майбутніх умов руху	Мінімізація ризиків. Максимізація ефекту	Узагальнений план графік роботи на ТДК	Стратегічне врахування обмежень	Планування ремонтів та оптимального завантаження
4. Програма	Обґрунтування маршруту	Програмування маршруту руху	Координація у часі та просторі	Координація позицій $n$ ВТЗ	Відстані динамічних кризових зон максимального ризику
5. ГАУ	За визначеною програмною траєкторією	Багатокритеріальна оптимізація в районі руху	Адаптивна технологічна електронна картка руху	Оперативне упорядкування задач	Пріоритетна адаптація до ремонту і головних факторів
6. Маневр	Позиційне маневрування, ухилення	Безпечне розходження та запобігання зіткнень у зоні	Зміни курсу. Зміна швидкості гальмування	Підвищення точності навігації	Оперативне корегування законів управління у зоні маневру
7. Рух	Стабілізація руху на поточній траєкторії	Компенсація збурень та відхилень	Закон роботи двигуна та керма	Високоточні вимірювання зовнішніх факторів	Автоматична покрокова реалізація оптимального керування

2) використання та застосування гетерогенних ПАК, що мають переваги у чітко визначеній області їх практичної експлуатації при самоудосконаленні;

3) накопичення знань у базах знань, фактів у системах управління базами даних (СУБД), правил та закономірностей у довідкових інформаційних фондах (ДФ) за єдиною електронною технологією документообігу та кроками самосинхронізації;

4) проектування новітніх приладів, інструментів, компонентів, модулів, підсистем та комплексів відповідно до самоаналізу інноваційних замовлень та цифрових вимірювальних експериментів, що обґрунтовують ефективність нових рішень та їх технологічної реалізації;

5) прогнозування природних та соціо-технологічних явищ з деталізацією сутності, особливостей та часових подій у ЗППП з метою упередженого самонавчання;

6) формалізація ієрархічних взаємодій та взаємовідношень у СДС для самоорієнтації за класифікованими умовами прояву зовнішніх та внутрішніх обставин відповідного впливу на рух ВТЗ;

7) комплексне інтегральне рішення щодо самоконтролю методів побудови безаварійних складних технічних систем для ПЕВО, ТЕТО, ТІУС та різноманітних ВТЗ.

Задача про розподіл функцій між операторами має формалізований опис [1-3] та відповідні математичні типові методи розв'язку при наявності даних. У чітко визначеній множині інтелектуальних агентів

системі  $IAS_i \forall i = \overline{1, m}$ , кожний  $IAS_i$  (із природним чи штучним інтелектом) може використовувати умовно одну (найбільш ефективну в заданих умовах ЗППП) роботу. Для гарантованої (100%) безпеки руху потрібна множина  $S_{ij}$  процедур  $\forall j = \overline{1, m}$ , яка формує базову кількість необхідних та достатніх виконавців поточного завдання за умови  $E = \cup S_i = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ . Відомо, що реалізація кожної  $e_i$  процедури дозволяє отримувати  $\omega(e_i)$  необхідну частку комплексного ефекту лише за чітко визначених умов реалізації функцій у ЗППП. До переліку повних умов входять також і обмеження на якість роботи та ресурсів. При відомих відмовах і збуреннях існує необхідна кількість структурних та параметричних даних стосовно конкретної задачі.

Задача із вище наведеними даними потребує знаходження такого гарантованого варіанту розподілу функцій, який дозволить отримати 100% результат конструктивної взаємодії  $IAS_i$  з максимальним ефектом відповідно до багатокритеріального рішення на завершення розв'язку даної задачі [8-10].

Критерій максимального ефекту двобічний. Він означає, що віддаленість відстаней до загрози, аварії, катастрофи визначається як 100% у сенсі безаварійності. З іншого боку витрати на отримання та реалізацію бажаного оптимального (квазіоптимального) варіанту взаємодії потребує певних ресурсів (речовини, енергії, інформації, кадрів, приладів, каналів зв'язку).

Таким чином дана типова математична задача зводиться до застосування методів пошуку часткової трансверсалі  $T = (t_1, t_2, \dots, t_m)$  для послідовності множин  $P(S_1, S_2, \dots, S_n)$ . Згідно даних [8, 11, 12], оцінки трудовитрат (інформаційно-обчислювальних операцій) при розв'язках даної задачі не більш ніж порядку  $n \sum |S_i|$ .

Перехід до розв'язку суто математичної задачі потребує реалізації підготовчих етапів, для чого необхідно реорганізувати СНУР ВТЗ [12 – 16] у наступних напрямках:

Н1. Високоточне прецизійне вимірювання навігаційних параметрів в умовах шумів та прояву ключових дестабілізуючих факторів навколишнього середовища, що змінюється та природно варіюється за визначеними детермінованими й стохастичними законами.

Н2. Комплексна обробка (вторинна, третинна) даних гетерогенних джерел для задач СНУР ВТЗ на принципах інтелектуалізації технологічних процесів в інтегральних мережах та ПЕВО для цілеспрямованої циркуляції ієрархічних інформаційних потоків.

Н3. Маневрені режими ВТЗ у стислих обставинах з урахуванням всіх поточних обмежень та особливостей змін впливу факторів навколишнього середовища ЗПРП з конфліктуючими учасниками взаємодії та перешкодами, завадами, відмовами, які не в змозі протидіяти руху ВТЗ для віддалення на безпечно відстань з усуненням аварійних зіткнень.

Н4. Функціональна стійкість виконання програмних маршрутів руху ВТЗ за рахунок адаптації, раціональної реконфігурації та розподілу функцій ПЕВО, ТЕСТО, ТІУС, СНУР у стаціонаризованій гетерогенній СДС з визначеними реальними обставинами.

Н5. Розподілена багатопаралельна мережева система взаємодії та розв'язку поточних практичних задач багатокритеріального управління ВТЗ та транспортних потоків в реальних умовах конфліктів у природному та соціотехнологічному просторах.

Н6. Неперервна стовідсоткова електронна технологія телекомунікації, особливо для проектування новітніх і прогресивних зразків техніки й технологічних модулів, необхідних для своєчасної реалізації авторської ідеї (Авідо) у виробничу документацію та ефективні зразки автоматизованого виробництва замовленої продукції, послуг, відновлення функцій, а також надання екстреної допомоги.

Н7. Високоякісна інтелектуальна підтримка по кожному з вищезначених напрямків шляхом застосування експертних систем, включаючи системи прогнозування, імітації, тренажа, контролю та діагностики режимів функціонування СНУР ВТЗ, що реально функціонують у єдиному фізичному просторі та використовують ресурси єдиного інформаційного простору різноманітних ПЕВО.

Інтеграція у межах єдиної інформаційної моделі базових модулів інформаційних технологій відображає поточні ситуації, що змінюються та варіюються під час виконання транспортної роботи. Розроблене алгоритмічне та програмне забезпечення адаптивної взаємодії інтелектуальних агентів системи, включаючи бортові багатофункціональні комплекси, диспетчерські центри, сервери запобігання зіткнень, сховища статистичних та динамічних даних, та вдосконалена методологія адаптивної зміни функцій учасників руху у ЗПРП, які оснащені спеціалізованими програмно-апаратними комплексами, у розподіленій інтегрованій системі дозволяє за допомогою служби обміну повідомленнями скоротити часові та економічні ресурси підвищення безпеки руху ВТЗ на небезпечних ділянках.

Системна якість СНУР ВТЗ, метою якої є 100% безаварійність у ЗПРП, буде отримана лише за рахунок професійної підготовки всіх операторів – осіб, що приймають рішення на всіх (не менш ніж семи) рівнях ієрархії ПЕВО, ТЕСТО, ТІУС, а також ієрархічних відношень між членами екіпажу різноманітних ВТЗ. Слід підкреслити, що підвищення рівня професійної підготовки повинне охоплювати також і робітників вищих навчальних закладів та співробітників транспортних і логістичних організацій, які взаємодіють з головними (ролевими) учасниками СДС. Тому загальна проблема безаварійного руху ВТЗ у реальному фізичному просторі ТДК в цілому залежить від інтелектуального рівня операторів, де кожний  $IAS_i$  виконує своєчасно регламентовані та стандартизовані професійні функції [1, 2, 4, 8, 12].

Таким чином, запропонована технологія гарантування безпеки руху різноманітних ВТЗ реалізується методами раціонального розподілу функцій з урахуванням ефективності професійної підготовки операторів для підвищення поточних якостей  $IAS$  СНУР.

## Висновки

1. Запропонована та обґрунтована технологія гарантування підвищеного рівня безпеки руху високошвидкісних транспортних засобів, що рухаються у зоні підвищеного ризику подій на ділянках ТДК під час впливу зовнішніх та внутрішніх факторів навколишнього оточуючого середовища, яка конфліктним чином протидіє виконанню якісної й ефективної транспортної роботи.

2. Розроблено основи методу пошуку такої послідовності типових (просто реалізуємих) операцій трансформування поточного стану, який ситуативно обумовлений складною динамічною системою у зоні підвищеного ризику подій та відповідно класифікується підвищенням рівня ймовірності аварійних подій та катастроф з високошвидкісними транспортними

засобами, у інший термінальний цільовий стан з гарантуванням безаварійного руху, незважаючи на протидію факторів навколишнього середовища.

3. Доведено, з використанням теорії матроїдів, що синергетичний ефект безаварійного руху високошвидкісних транспортних засобів виникає відповідно цілеспрямованій взаємодії інтелектуальних агентів поліергатичної системи навігації та управління високошвидкісних транспортних засобів лише за умов реалізації необхідних та достатніх конструктивних типових операцій, які формують ланцюг законів управління для реалізації покрокового удалення від існуючих загроз аварії у поточних конфліктних ситуаціях.

### Список літератури

1. Рукэ Эльвин. *Справочник по безопасности дорожного движения / Эльвин Рукэ, Мюсен Боргер Аннэ, Ваа Трус / Пер. с норв. под ред. проф. В.В.Сильнова – М.:МАДИ (ГТУ), 2001. – 754с.*
2. Гарев А.С. *Организация автомобильных перевозок и безопасность движения./ А.С. Гарев, Е.М. Олеценко. – М.:Академия 2006. – 256 с.*
3. Баранов Г.Л. *Функціональна стійкість навігаційного обслуговування безпеки судноплавства на внутрішніх водних шляхах / Г.Л. Баранов, А.М. Носовський, І.В. Тихонов// Монографія - Київ: КДАВТ, 2012. - 149с.*
4. Міронова В.Л. *Адаптивна інтелектуалізація інформаційно-аналітичної технології з безпеки руху високошвидкісних транспортних засобів / В.Л. Міронова // Проблеми транспорту: Збірник наукових праць: Вип. 8. – К.: НТУ, 2011. – С. 187-193*
5. Баранов Г.Л. *Концепція побудови функціонально стійкого навігаційного обслуговування об'єктів водного транспорту в зонах підвищеного ризику плавання / Г.Л. Баранов, І.В. Тихонов// Системи управління, навігації та зв'язку, науково-періодичне видання.-К.: ЦНДІНУ, 2009 – Вип.2(10). – С. 17-21.*
6. Міронова В.Л. *Засоби адаптивної інтелектуалізації технології підвищення безпеки руху високошвидкісних*

*транспортних засобів / В.Л. Міронова // Системи обробки інформації. Вип. 4(94). – Харків: Харківський університет Повітряних Сил ім.і Івана Кожедуба, 2011. – С. 46-51.*

7. *Інтеграція інформаційних технологій на транспорті. Навчальний посібник / Г.Л. Баранов, С.А. Банішевський, В.Л. Міронова, Д.В. Пасечник. – К.: НТУ, 2009. – 197 с.*

8. *Иваненко В.И. Проблема неопределенности в задачах принятия решений / В.И. Иваненко, В.А. Лабковский – К.: Наукова думка. 1990. – 136 с.*

9. *Мушник Э. Методы принятия технических решений / Э. Мушник, П. Мюллер // - М.: Мир, 1990. – 208 с.*

10. *Льюис Р.Д. Игры и решения / Р.Д. Льюис, Х. Райфа // - М.: ГИЛ, 1961. – 642с.*

11. *Хакен Г. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам / Г. Хакен, пер. с англ. // - М.: КомКнига, 2005. – 248 с.*

12. *Назин А.В. Адаптивный выбор вариантов: Рекуррентные алгоритмы / А.В. Назин, А.С. Позняк. - М.: Наука, 1986. – 288 с.*

13. *Микони С.В. Многокритериальный выбор на конечном множестве альтернатив / С.В. Микони. СПб.: Лань, 2009. – 272 с.*

14. *Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-и тт.; 2-е изд., перераб. и доп. Т4. Теория оптимизации систем автоматического управления / под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова // - М.: МГУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 744 с.*

15. *Берка К. Измерения. Понятия, теории, проблемы / К. Берка. Пер. с чеш.// - М.: Прогресс, 1987. – 320 с.*

16. *Мальцев А.С. Способ оценки опасности столкновения в системах управления движением судов / А.С. Мальцев, А.П. Бень, Нгун Тхань Шон // Судовождение. – Одесса: «Издат Інформ», ОНМА, 2009, - Вып.16. – С. 97-107.*

Надійшла до редколегії 21.12.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. Є.Т. Скорік, ДП «Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління», Київ.

### РАЦИОНАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИЙ В ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ НАВИГАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ В КРИТИЧНЫХ СИТУАЦИЯХ

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

*Предложена новейшая технология обеспечения уровня безопасности движения высокоскоростных транспортных средств. Разработан метод поиска последовательности операций трансформации состояния с высокой степенью вероятности аварии в состояние без аварии. Доказано, что синергетический эффект целенаправленного взаимодействия интеллектуальных агентов эргатической системы возникает только при четко определенных условиях реализации необходимых и достаточных функций пошагового удаления от угроз аварии в конфликтных ситуациях.*

**Ключевые слова:** навигация, управление, движение, транспортные средства, интеллектуальные агенты, конфликт, угроза аварии, распределение функций, обеспечения безаварийности.

### THE RATIONAL DISTRIBUTION OF FUNCTIONS IN THE ERGATIC SYSTEMS OF NAVIGATION AND CONTROL OF HIGH-SPEED TRANSPORT VEHICLES FOR PROVIDING OF SAFETY TRAFFIC IN CRITICAL SITUATIONS

G.L. Baranov, V.L. Mironova, G.G. Sobolevskiy, I.V. Tyhonov

*The new technology to ensure the safety of high-speed vehicles traffic is offered. The method of searching for sequence transforming from the stage of a high degree of an accident probability in a stage without an accident is developed. Proved that the synergistic effect of targeted interaction of intelligent agents in ergatic system occurs only when specified conditions realization of the necessary and sufficient features step away from the threat of accidents in critical situations.*

**Keywords:** navigation, control, traffic, transport, intelligent agents, conflict, threat of an accident, distribution of functions, ensure of safety traffic.