

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

## **ФОРМАЛІЗАЦІЯ ФАКТОРІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЦІЛЬОВОЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ ПРОЦЕСІВ НАВІГАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ РУХОМ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ У КРИТИЧНИХ СИТУАЦІЯХ**

*Запропонована формальна система ключових понять інтелектуальної бази знань, що гарантує забезпечення цільової функціональної стійкості процесів навігації та управління рухом транспортних засобів у критичних ситуаціях зростання ризиків аварій. Надані визначення необхідних для гарантування безпеки руху тих відстаней, що фіксують міри степені близькості чи віддалення між безпечною зоною та небезпечними об'єктами. Обґрунтовані умови формування оперативних законів гарантовано адаптивного управління рухом транспортних засобів без аварій та катастроф завдяки актуалізації означеної бази знань*

**Ключові слова:** *навігація, управління рухом, безпека, безпечна дистанція, бази знань.*

*Вступ.* Безпека руху високошвидкісних транспортних засобів (ВТЗ), зокрема водних транспортних засобів, визначає інтегровану системну оцінку якостей всіх підсистем, компонентів, елементів складної динамічної системи (СДС), а також їх природну та соціотехнологічну взаємодію під час здійснення перевезень пасажирів і вантажів. Вимоги до безпеки руху ВТЗ з боку міжнародних та державних організацій з роками стають все більш жорсткими. Це обумовлено значною кількістю аварій та катастроф [1-3] на всіх видах транспорту в сучасних умовах значного прогресу техніки та інформаційних технологій прийняття рішення у складних обставинах [3,4].

*Сучасний стан досліджень.* Статистика для всіх видів транспорту в розвинених країнах [2] надає підґрунтя для поширеної тези про «людський чинник», який охоплює від 60% до 80% аварійних подій. Тому міжнародні органи, відповідальні за безпеку, визначають допустимий ступень ризику для руху ВТЗ. Наприклад, згідно вимог Міжнародної організації цивільної авіації (ІСАО), ймовірність виникнення ризику на борту літака на одну годину польоту не повинна перевищувати: у складній ситуації  $\overline{P}_C = 10^{-4}$ ; у аварійної  $\overline{P}_A = 10^{-6}$ ; у катастрофічної ситуації  $\overline{P}_K = 10^{-7}$ .

*Невирішена частина загальної проблеми.* Саме стосовно фізичних обмежень професійно підготовленої людини (швидкість реакції з запізненням більш ніж 0,2-0,5 с; кількість врахованих факторів реального впливу не більш ніж 7 чинників; низькочастотний діапазон вхідних сигналів повідомлення, що сприймається; вузький діапазон можливих навантажень; погіршення працездатності при втомі та впливах небезпечних і шкідливих факторів тощо) потребує раціонального розподілу функцій між людиною-оператором та машиною (соціотехнічною складною системою з високим рівнем технічної складності засобів управління ВТЗ) [3,4]. Будь-які відомі порушення на межі людино-машинної взаємодії (НМІ), які перевищують природні (індивідуальні) обмеження можливості конкретної особи – інтелектуального агента системи (ІАС) - забезпечити безпеку руху в екстремальних (форс-мажорних) умовах, згідно статистики, є причиною аварій та катастроф на транспорті.

*Постановка задачі.* Саме тому гостро необхідні інноваційні засоби гарантовано адаптивного управління (ГАУ) рухом ВТЗ за рахунок забезпечення цільової функціональної стійкості (ЦФС) за критеріями безпеки, особливо у позаштатних ситуаціях, розширеної інтелектуальної автоматизації та упередженої адаптивності до темпів змін у зовнішньому середовищі. Таким чином, головні задачі ГАУ рухом ВТЗ полягають у запобіганні аварій та катастроф шляхом своєчасного ухилення від зіткнень та ухилення від влучення у ядро зони

підвищеного ризику подій (ЗППП), де неминучі (практично 100%) аварії та катастрофи внаслідок непереборних (у порівнянні з природними можливостями ІАС) сил навколишнього оточуючого середовища з катастрофічним впливом його факторів на даний конкретний ВТЗ.

*Мета роботи.* Знизити реальні ризики аварійних подій під час руху ВТЗ у ЗППП внаслідок активних упереджених дій ІАС та штучного інтелекту засобів ГАУ. Вони своєчасно реагують на загрозливі тенденції зростання небажаних ризиків [3,4] через наближення ВТЗ до небезпечних областей навігації (НОН), фактори загрози яких поки ще неминуче діють на віддалених відстанях. Цільові ефекти ЦФС можливо досягти, якщо істинно формалізовані процедури достовірного вимірювання, порівняння та контролю динамічних процесів у фазованому просторі. Конструктивна цільова реорганізація таким чином змінює взаємодії НОН з безпечними областями навігації (БОН), що тут і зараз лише в зоні БОН відсутні загрози для скоєння потенційних аварій та катастроф [1, 2, 7].

*Гіпотеза.* Рух ВТЗ без аварійних та катастрофічних наслідків можливий лише вздовж шляху, який належить програмним послідовностям БОН без гарантованого контакту з сусідніми НОН, що можуть наближатись, але лише на гарантованій мінімальній відстані від минаючих ВТЗ у БОН. Тобто входження або зіткнення ВТЗ з НОН стовідсотково виключено завдяки синергетичним властивостям ГАУ рухом ВТЗ. Процедури реорганізації мають прояв у загрозованих позаштатних ситуаціях початкового зростання ймовірності  $P_0(t)$  ризиків ускладнення обставин у ЗППП, що поки віддалена.

*Основний матеріал.* Відстань або несхожість як поняття [5-7] визначає степеневу характеристику близькості чи віддалення між двома об'єктами. Метрика використовується як певний стандарт інструментарію міри для вимірювання. Математичне поняття метрики у сенсі функції  $d(x, y)$  з множини  $X \times X$  у множину дійсних чисел ( $X \times X \rightarrow R$ ) задовольняє стандартним умовам:  $d(x, y) \geq 0$ ; якщо  $x = y$ , тоді  $d(x, y) = d(y, x)$  - симетрична тотожність;  $d(x, x) = 0$  - ситуація рефлексивності;  $d(x, y) \leq d(x, z) + d(z, y)$  - для трьох точок виконується правило трикутника в метричному просторі  $(X, d)$ , де  $x, y, z \in X$  згідно М. Фреше [6, 7].

Таким чином, для будь-якої відстані  $d$  функція  $d: X \times X \rightarrow R$  для всіх  $x, y, z \in X$  множини при  $x \neq y$  та  $D(x, x) = 0$  визначається

$$D(x, y) = d(x, y) + C, \quad (1)$$

$$C = \max_{x, y, z \in X} (d(x, y) - d(z, x) - d(y, z)), \quad (2)$$

як відповідна метрика заданої просторової множини.

Подібність на цій множині  $X$  – це інша функція  $S: X \times X \rightarrow R$ , якщо  $S$  позитивно визначена, симетрична для будь-яких  $x, y \in X$  при  $x = y$  маємо  $S(x, y) = S(x, x)$ , але  $\forall x \neq y$  буде виконуватись нерівність  $S(x, y) < S(x, x)$ .

Взаємозв'язок між відстанню  $d$  та подібністю  $S$  можливо визначати аналітично, наприклад згідно рівнянь [5]

$$d = 1 - S, d = \frac{1}{S} - 1, d = \sqrt{1 - S}, d = \sqrt{2(1 - S^2)}, d = \arccos S, d = -\ln S. \quad (3)$$

Замкнений метричний інтервал  $x, y \in X$  між  $x$  та  $y$ :

$I(x, y) = \{z \in X : d(x, y) = d(x, z) + d(z, y)\}$  протилежний основний граф з ребром  $(x, y)$ , а точки  $z$  не існує.

Монотонна відносна відстань у метричному просторі  $(X, d)$  буде, якщо  $\forall I(x, x')$  та  $Y \in X \vee (x, x')$  існує  $x'' \in I(x, x')$ , значення для якого  $d(x, x'') > d(x, x')$ .

*Формалізація понять динаміки БОН та НОН.* Поняття БОН характеризується наступним змістом у просторово-часовому континуумі (ПЧК), який змінюється, але рух у його межах не впливає на головну якість – завжди мати ЦФС, тобто заданий (практично 100%) рівень безаварійного руху ВТЗ.

Властивість БОН [3] мати ЦФС (БОН  $\subset$  ЦФС) гарантується технічними та технологічними засобами ГАУ внаслідок наявного надлишкового ресурсу. На борту ВТЗ ресурс (паливо,

мастила, типові змінні елементи) витрачається, але він відновлюється у термінальних пунктах маршруту як необхідний засіб гарантування  $P_C$  за критеріями надійності та живучості [3, 4, 8] у складних позаштатних ситуаціях. Тому відстань  $d_{ij}$  між термінальними пунктами  $i$  та  $j$  у межах конкретної БОН обумовлена пунктами відновлення техніко-технічних ресурсів згідно регламенту на технічну експлуатацію ВТЗ. Рельєф та геометрія простору БОН забезпечує рух ВТЗ у режимах: квазіпрямолінійного переміщення  $\{x(t), y(t), z(t)\} \in X(t)$ ; прискорення та гальмування  $\{\dot{x}(t), \dot{y}(t), \dot{z}(t)\} \in \dot{X}(t)$ ; маневрування з поворотом ліворуч і праворуч; циркуляцією по колу; рухом за правилами у змінному режимі при обгонах інших учасників у потоці габаритної смуги руху (ГСР); зупинки та знаходження стабільного місця  $X = const, \forall t \in T_s$  у дозволеній локальній області ЗПП, яка відображена як електронна навігаційна карта.

Моделювання БОН полягає у визначенні топологічного підпростору  $M$  в евклідовому просторі, що відображається на дисплеї електронно-картографічної навігаційної інформаційної системи (ECDIS) [7] у межах повномасштабної системи навігації та управління рухом (СНУР) ВТЗ. БОН як підпростір  $M$  – це замкнена поверхня, що обмежена вимогами 100% безпеки ВТЗ та будь-яка точка його місцезнаходження має окіл  $\varepsilon$ , який гомеоморфний евклідовому простору.

Маршрут із забезпеченням 100% безпеки руху ВТЗ визначається як послідовна зв'язність топологічних підпросторів  $M_s, M_1, M_2, \dots, M_f$  між термінальними  $\varepsilon_i$  околами-пунктами  $(S, f)$  транспортної роботи. Якщо нормувати відстань між термінальними пунктами  $d_{sf} = 1$  у відносних одиницях на екрані ECDIS, тоді топологічний простір з інваріантними властивостями БОН можливо відобразити як послідовність точок  $M = \{1/n | \forall n = 1, 2, \dots, S\}$ , що починається з пункту призначення  $f$  та закінчується пунктом початку маршруту (старту)  $S$ , де відомі початкові умови. Таким чином, у топологічному підпросторі  $M$  всі проміжні точки з  $\varepsilon_i$  околами задовольняють умовам інваріантності БОН, та зв'язності під час реального руху ВТЗ [3, 4, 8].

*Поняття НОН* характеризується іншим антиподним змістом. Простір НОН –  $N$  по відношенню до  $M$  не гомеоморфний [6, 7] у сенсі відсутності між ними зв'язності згідно критерію ЦФС. Головні риси простору НОН – наявність заборони за правилами на рух у напрямках наближення до критичних об'єктів. Різноманітна фізична природа критичного об'єкту пов'язана відповідно з неідентичними процесами, явищами, причинами. Однак результуючі наслідки практично однакові: при зіткненнях та навалах – це загибель та втрата життя людини і пошкодження судна; при вибухах та пожежах – це значні ураження як природної біосфери, так і техніки, а також теплові удари, опіки, втрата працездатності людей [7]. Реально в НОН одночасно та стрибкоподібно відбуваються процеси: біологічної загибелі та екологічної катастрофи; втрати працездатності і техніки з кумулятивним ефектом охоплення сусідніх об'єктів; економічні втрати значного масштабу та значної соціальної чутливості. Парирування наслідків такого роду потребує: тривалого часу на ліквідацію пожеж, отруєнь, пошкоджень, фізичних уражень; мобілізації значних спеціальних підрозділів зі спеціальною технікою, що витрачає суттєві ресурси; ізоляції та виключення даного локально обмеженого простору з зони БОН на тривалий час відновлення умов безпечного руху згідно регламентних правил для можливості транспортного потоку [1].

*Основи гарантування безпеки руху ВТЗ.* Найбільш доцільним для пасажирів й вантажу буде такий рух ВТЗ, який ніколи не переривається, не перетинає заборонені межі та 100% запобігає зіткненню із загрозливими об'єктами у НОН за рахунок своєчасного зупередження маневрування з метою раціонального розходження об'єктів [3, 4, 8, 9].

Реальні НОН існують лише у двох станах. Перші НОН належать до стаціонарних нерухомих об'єктів. Наприклад, це скали, споруди, обриви, заборонені локальні області. Інші НОН суто рухомі за власними причинами. Наприклад, це торнадо-смерчі, блискавки та

множинні поля блискавок, руйнівні землетруси, цунамі, зустрічні ВТЗ, з якими неможливо узгодити сумісний рух та інші.

Динамічні НОН формують особливий клас, для кожного форс-мажорного явища практично необхідна окрема система спеціального моніторингу, спостереження, прогнозу розвитку наступних фаз у просторі та часі.

Запропонована формалізація будови ПЧК під час руху ВТЗ наведена на рисунку, де стосовно ймовірностей на БОН(t) та НОН(t) завдяки СНУР з повинними властивостями ЦФС чітко зберігається послідовність фазових просторів.

$$БОН \cup ЗПРП = \{ГСР, ПЗО, ОЗМ, ТЗП, СЗА, ЗДЗ, ЗМШ\}, \quad (4)$$

де ГСР – габаритна смуга руху реального фактичного шляху з S умов;

ПЗО – планова зона оптимального руху згідно ЦФС у межах БОН;

ОЗМ – оперативна зона маневрування з реагуванням на перешкоди;

ТЗП – тактична зона плану згідно визначених об'єктів НОН;

СЗА – стратегічна зона альтернатив забезпечення безпеки при наявних НОН;

ЗДЗ – зона дистанційного зондування для зняття невизначеності у межах ПЧК на віддаленнях від рухомого ВТЗ не менш ніж  $d_{gs} \div d_{gf}$  при середній швидкості її проходження  $V_C(t)$  за інтервал часу  $\Delta\tau_g = (d_{gs} - d_{gf}) / V_C(t)$ ;

ЗМШ – зона майбутнього шляху до термінального (можливо проміжного) f пункту, якщо в цій зоні можливо на протязі  $\Delta\tau_{ми}$  гарантувати 100% руху ВТЗ.

Поточні особливі властивості СДС для гарантування безпеки руху ВТЗ у чітко визначеному ПЧК ЗПРП відображені у таблиці, як приклад принципів структуризації баз знань та даних інтелектуальних СНУР з ЦФС.

Параметрична характеристика кожного окремого простору (див. рисунок) згідно (1) також виконується у відповідних табличних файлах СНУР ВТЗ для оперативного розв'язку задач ГАУ. Семантичні символічні означення [3, 5, 6] дозволяють використовувати алгебраїчні та логічні закономірності, які існують для природних та соціотехнологічних процесів і явищ у оточуючому середовищі.

Геометричні тривимірні значення параметрів ВТЗ, об'єктів БОН та НОН, ГСР та типових і стаціонарних споруд у кожному кадрі k електронної карти СНУР на борту ВТЗ відомі з достатньою точністю. Невизначеність під час руху формують динамічні НОН, де відбуваються незалежні та неконтрольовані природні й соціотехнологічні явища.

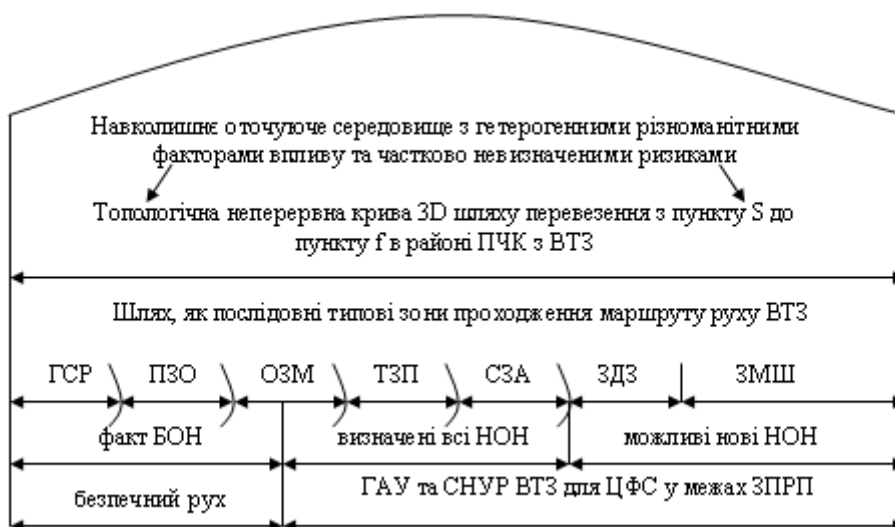


Рис. 1. Формалізована структурна послідовність ситуативних зон 3D просторово-часового континууму під час руху ВТЗ між двома термінальними пунктами реалізації транспортної роботи та змінних факторах впливу

Закономірності вивчених природних процесів можливо характеризувати вимірюваним простором ймовірностей [6]  $(\Omega, A, P)$ , де  $\Omega$  це множина всіх складних підмножин  $A$ , що вимірюються,  $P$  – міра на  $A$  з умовою  $P(\Omega) = 1$ . Простір вибірок для множини  $\Omega$  містить елементи  $a \in A$ , що називають подіями. Якщо підмножина множини  $\Omega$  має лише один елемент, тоді відбувається елементарна подія. Ймовірнісна міра  $P$  на  $A$  характеризує  $P(a)$  як ймовірність події  $a$ .

Випадкова величина  $X : \Omega \rightarrow R$  визначає відношення переходу з простору ймовірностей  $(\Omega, A, P)$  в простір вимірювання, де використовуємо  $R$  дійсні числа на множині значень  $\mathcal{X}$ , яку називають множиною носія розподілу  $P$ , де  $x \in \mathcal{X}$  визначає конкретний стан. Закон розподілу або кумулятивна функція щільності  $F(x)$  фіксує, що випадкова величина  $X$  приймає значення  $F(x) = P(X \leq x) = P(\omega \in \Omega : X(\omega) \leq x)$  не більш ніж  $x$ .

Випадкова величина  $X$  буде мати значення в фіксованому інтервалі  $[a, b]$  відповідно закону розподілу ймовірностей  $P(a \leq X \leq b) = P(\omega \in \Omega : a \leq X(\omega) \leq b)$ . Рухомі ВТЗ та інші об'єкти з динамікою зміни у ПЧК можливо описувати через абсолютно неперервні функції розподілу  $F : R \rightarrow R$  з стандартними властивостями [5, 6].

Якщо для кожного числа  $\varepsilon > 0$  існує таке число  $\delta > 0$  для будь-якої послідовності попарно неперетинаємих інтервалів  $[x_k, y_k], \forall 1 \leq k \leq n$ , що за умов нерівності  $\sum_{1 \leq k \leq n} (y_k - x_k) < \delta$  будемо мати відповідну нерівність  $\sum_{1 \leq k \leq n} |F(y_k) - F(x_k)| < \varepsilon$ . Ймовірнісна метрика  $d$  гарантує, що за умов, тільки тоді, коли  $d(X, Y) = 0$ , будемо мати  $P(X = Y) = 1$ .

Для рухомих ВТЗ доцільно в якості базової відстані обрати величину, рівну геометричній довжині повздовжньої лінії його корпусу, тобто на просторі станів місцеположення у відповідній зоні (див. рис.) маємо  $\mathcal{X}_k$  умовно-конкретний корпус технічного об'єкта як твердого тіла з наперед визначеними параметрами відповідно до обраної шкали та одиниць виміру. Це дозволяє визначати за допомогою  $\mathcal{X}_k$  відстані між сусідніми ВТЗ у транспортних потоках та розміри локальних зон, через які проходить поточний реальний шлях перевезення за час подолання типового району ПЧК (див. рис.). Географічний 3D профіль цього типового району дозволяє використовувати точні координати як місця старту  $S$ , середовища, що охоплює ВТЗ та інших учасників руху у межах СДС (див. табл.), а також найбільш віддалену точку фінішу  $f$ , де закінчується цей район, та при необхідності починається інший, з аналогічною структурою послідовних 7 зон (див. рис.1).

Мета, завдання та тема безпеки руху ВТЗ потребує повного розкриття невизначеностей стосовно рухомих НОН, конкретних ризиків, загроз, відмов, помилок та інших складностей у межах СДС. Розв'язок кожної конкретної задачі можливий при чітких формальних визначеннях, особливо на етапах прийняття часткових та остаточних рішень щодо ГАУ за критеріями ЦФС.

Тому визначимо необхідні поняття з використанням знання  $\mathcal{X}_k$  реального корпусу ВТЗ.

Безпечна відстань – найкоротша відстань між ВТЗ та джерелом загрози життя, які відомі як НОН.

Індивідуальна зона безпеки – сфера ПЧК з радіусом віддалення від центру об'єкта, що гарантує мінімальну циркуляцію або обертання навколо даного центру.

Відстань до найближчого сусіда ВТЗ – безпечна відстань гарантованого збереження цілісної структури групового руху при русі у транспортному потоці за принципом копіювання поведінки («роби так, як зробить сусід»), наприклад: пориви вітру, значні хвилі, течії, пошкодження полотна дороги, локальні об'їзди, інші перешкоди.

Відстань до НОН – відстань до значної небезпеки, яка загрожує життю водія та пасажирів з причин особливих природних явищ непереборної сили (землетрус, зсув, вулканічна лава, торнадо, смерч, фронт блискавок, аномальні явища тощо).

## Поточні основні властивості СДС для гарантування безпеки руху ВТЗ

Склад СДС	Ключові головні об'єкти	Структурна семантика складної динамічної системи для гарантування безпеки руху ВТЗ	Приклади частки факторів впливу	Приклади типових загроз та ризиків	Вимоги регламенту ІМО
Природне навколишнє середовище	Сонце вітер акваторія течії хвилі	теплові удари, опіки погіршення здоров'я тілесні ушкодження фізичні ураження непереборні лиха, негоди	дальність обзору тиск стисла протилежні хвилі-вбивці	туман торнадо вужькості антиподні	своєчасне оснащення цілодобове вимірювання прогнозування
Соціотехно логічне штучне середовище	споруди термінали знаки обмеження канали	навантаження перенапруження захворювання ушкодження втрата працездатності	мости порти маяки мілини шлюзи	підводні об'єкти відмови зсув черги	виконання правил застережень рекомендацій досвіду
Системи навігації та управління рухом ВТЗ	засоби навігації орієнтації оцінювання вибору реалізації	запізнення викривлення хиби, завади широкополосні шуми випадки	GPS локатор ECDIS АСУ автостерновий	помилки похибки неадекватність затримки некерованість	точність дальність своєчасність повнота надійність
Ієрархічні ПЕВО ІАС	адміністратори менеджери диспетчери логісти судноводії	ігнорування регламенту порушення вимог порушення правил відволікання уваги	судновласник економіст диспетчер боцман капітан	накази штрафи помилки суперечність незадовільна вахта	узгоджений розподіл функцій та контроль
ЗПРП	загрози перешкоди межі умови обставини	місцеположення наближення збільшення ризиків ускладнення збіг обставин	балки, опори мілини створ заборони одночасність	близькість невизначеність суперечність ремонт збіг обставин	підвищена увага допоміжна вахта мобілізація
Учасники руху ВТЗ в локальній зоні (тут, зараз)	попутні у потоці зустрічні перетин курсів завади пріоритети	особисті цілі власний шлях суттєва взаємозалежність інші ВТЗ, потерпілі деякі обставини, причини	цивільні військові пірати маневри правила	порушення норм і правил "на абордаж" навали зіткнення	телекомунікація зв'язок узгодження попередження ухилення запобігання
Фізичні особливості фаз наближення	3D габарити відстані швидкості прискорення кривизна	природні керовані порушення блискавки неузгодженість	накриття загроза критичні імпульсні змінна	поглинання удар, вибух ураження стрибки загрозлива	ухилення удалення гальмування стабілізація плавність руху

---

Відстань форсованого бігу – дистанція, коли негайно здійснюється реакція на надмірне наближення НОН зі швидким зростанням ризику катастрофи.

Відстань реагування – відстань, з якої 7 різних сенсорів людини (IAS) реагують на фізичні, хімічна та біогенні ознаки та сигнали загроз для власного життя.

Міжконтактна відстань при маневруваннях, перетинах, розходженнях та інших формах запобігання зіткнень та інших аварійних подій внаслідок раціонального маневру ухилення без фізичного контакту та ураження.

Крива послаблення збурення в залежності від  $d_{ij}$  віддалення потенціалу точки  $i$  впливу стосовно центра (ядра  $j$ ) процесу чи явища джерела загроз.

Моделювання взаємодії  $I_{ij}$  згідно кривої послаблення в залежності від відстані між точками  $i$  та  $j$ , наприклад, по закону Парето, використовують функції виду [6]:

$$\ln I_{ij} = a - b \ln d_{ij}, \quad (5)$$

$$\ln I_{ij} = a - b d_{ij}^P, \quad (6)$$

де  $a, b, P$  - фіксовані параметри конкретного явища, для якого типові значення  $P = \{0,5; 1; 2\}$  при відображенні зменшення загрозливого фактору впливу при збільшенні відстані від джерела з максимальним потенціалом  $a$  в ядрі випромінювання.

Відстань захисних заходів – відстань у поточних умовах оточуючого середовища від джерела ураження до межі зони, де люди можуть отримати загрозливі для життя пошкодження (хімічні отрути, яди, гази; біологічні мікроорганізми, бактерії з хворобами, віруси; фізичні ураження різноманітного виду впливу з пошкодженням життєвих підсистем, органів, сенсорів та шкіри).

Обладнання для виміру відстаней – різноманітні інструменти, які призначені для виміру відстані від датчика-джерела до об'єкта-цілі на принципах локації з використанням різноманітних (радіохвиль, фотоелектричних, оптоволоконних, лазерних, рентгенівських) засобів. Глобальні системи навігації та визначення місцеположення прийомо-індикатору (GPS, ГЛОНАСС, EGNOS, GALILEO та інші) використовують псевдо-відстані за сигналами від не менш ніж чотирьох навігаційних космічних супутників [1]. Дальність телекомунікації для конкретних умов контакту між віддаленими комуні кантами залежить від особливостей використання каналів та різноманітних засобів мобільного зв'язку на борту ВТЗ для входу у глобальну мережу Internet.

Відстань дальності руху ВТЗ залежить від фактичної кількості палива на борту до наступного місця дозаправки палива та відновлення витратних ресурсів.

Безпечний шлях (робоча відстань ефективної транспортної роботи) залежить від 100% відсутності всіх факторів ризику будь-якого форс-мажорного явища (деякі приклади вищеозначені та згадані у табл.) природного та соціотехнологічного джерела, яке знаходиться від ВТЗ на безпечній неконтактній відстані. У межах БОН та ПЗО, де гарантовано рух згідно ЦФС. Виконуються всі регламентовані умови:

безпечна дальність видимості у поточних обставинах;

безпечна для маневрування чітка видимість НОН та об'єктів об'їзду;

безпечна для обгону видимість під час виконання обгону;

видимість обзору шляху включає повороти, наявність островів та берегових споруд, переїзди, підйоми та інші рельєфні особливості, що визначають вибір швидкісного режиму руху з урахуванням команд берегових служб або регулюючих сигналів;

оптимального реагування на оцінену небезпеку класу НОН для початку виконання відповідного маневрування;

ефективного гальмування з моменту рішення водія до моменту повної зупинки ВТЗ без аварійних подій;

своєчасної самоадаптації за допомогою радіозв'язку, що надає сигнали попередження про майбутнє наближення до НОН та необхідні рекомендації як діяти, щоб уникнути лиха.

Таким чином гарантоване запобігання тих зон, де відбуваються складні, аварійні та катастрофічні ситуації внаслідок загрозливих процесів, явищ та обставин СДС, потребує відповідного технічного інструментарію [9] для упередженого зняття невизначеностей стосовно можливих ризиків при русі ВТЗ з наближенням до джерел НОН. Міжнародний досвід аварійних подій, що були скоєні [1, 2, 7], слід накопичувати у вигляді БЗ та БД разом з підвищенням інтелектуалізації інформаційних технологій прийняття рішень [8] у поточних ситуаціях СДС, які змінюються одночасно та незалежно з рухом ВТЗ [3].

Поточний технічний контроль реальних множин відстаней для послідовного й безпечного проходження зон маршруту руху ВТЗ, що планується, достовірно, чітко, точно узгоджується з технічними параметрами якості дистанційного зондування [7] НОН на віддаленнях більш ніж  $10^3 \cdot k$  в одиницях довжини даного конкретного корпусу транспортного засобу.

### Висновки

1. Різноманіття процесів, явищ та зовнішніх обставин природної СДС необхідно чітко, повно та якісно за критеріями ЦФС систематично відображати у пам'яті СНУР ВТЗ для своєчасної класифікації динамічних зон БОН та НОН, які завжди варіюються, змінюються, виникають і зникають.

2. Реальні швидкоплинні обставини на борту ВТЗ разом з фактичними ускладненими ситуаціями у зовнішньому середовищі СДС, де також знаходяться центри мережі додаткової підтримки прийняття поточних рішень з метою гарантування ЦФС рухомого транспортного засобу, формують умови для оперативного визначення ефективних законів ГАУ з метою запобігання зіткнень з іншими учасниками у поточних зонах можливого, але небажаного контакту.

3. Запропонована відкрита для доповнень й самовдосконалення формалізація просторово-часового континууму з визначенням ключових відстаней до факторів впливу, що покриває можливе різноманіття змінних процесів, явищ та зовнішніх обставин природної СДС, дозволяє формувати конструктивні алгоритми інтелектуальних технологій визначення оперативних законів ГАУ рухом ВТЗ за критеріями ЦФС без аварій та катастроф при виконанні транспортної роботи у зонах підвищеного ризику подій.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Галак І.І. Системні аспекти забезпечення безпеки перевезень вантажів та пасажирів / І.І. Галак // Вісник НТУ. 42. – К.: НТУ, 2006. Вип.13. – С. 145-150.
2. Aviation Accident statistics [Electronic resource] / National Transportation Safety Board. – Mode of access: [www.nts.gov/aviation/htm](http://www.nts.gov/aviation/htm). Last access: 2012 - Title from the screen.
3. 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.
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. Зб. наук. праць. – Київ: КДАВТ, 2013. - №1 (6). – с. 7-13.
5. Деза Е.И. Энциклопедический словарь / Елена Деза, Мишель Мари Деза; [пер. с англ. В.И. Сычева] // Моск. гос. пед. ун-т; Нормальная высшая школа, Париж. – М.: Наука, 2008. – 444 с.
6. Encyclopedia of Mathematics, Hazewinkel M. (ed.). Kluwer Academic Publ., 1998. Online edition: <http://eom.springer.de/default.htm>.
7. Wikipedia, the Free Encyclopedia, <http://en.wikipedia.org>.
8. Баранов Г.Л. Гармонізація полієргатичних систем навігації та управління рухом високошвидкісних транспортних засобів методами теорії ігор / Г.Л. Баранов, І.В. Тихонов, В.Л. Міронова // Системи управління, навігації та зв'язку, наук.-період. видання. – К.: ЦНДІНУ, 2012. – вип. 3 (23). – с. 2-6.
9. Обідін Д.М. Забезпечення функціональної стійкості складних технічних систем / Д.М. Обідін, О.В. Барабаш, Б.В. Дурняк, О.А. Машков // Моделювання та інформаційні технології: зб. наук. праць. – К.: Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2012. – вип. 64. – С. 36-41.



---

---

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

**ФОРМАЛИЗАЦИЯ ФАКТОРОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССОВ НАВИГАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В КРИТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЯХ**

*Была предложена формальная система ключевых понятий интеллектуальной базы знаний, которая гарантирует обеспечение целевой функциональной устойчивости процессов навигации и управления движением транспортных средств в критических ситуациях роста рисков аварий. Предоставлены определения необходимых для обеспечения безопасности движения расстояний, которые фиксируют меры степени близости или отдаления между безопасной зоной и опасными объектами. Обоснованы условия формирования оперативных законов гарантированно адаптивного управления движением транспортных средств без аварий и катастроф благодаря актуализации обозначенной базы знаний.*

**Ключевые слова:** навигация, управление движением, безопасность, безопасная дистанция, базы знаний.

Baranov G.L., Tikhonov I.V., Sobolevskii G.G.

**THE METHODOLOGICAL BASIS OF THE GUARANTEED GOAL FUNCTIONAL STABILITY FOR PROCESSES OF NAVIGATION AND TRAFFIC CONTROL IN CRITICAL SITUATIONS**

*This article is devoted to the key concepts of intellectual knowledge base that guarantees the stability of the navigation and traffic management target functional processes in critical situations with growing accident risks. The definitions of distances required for safety traffic to be ensured, are presented with the indication of both proximity and remoteness degree measured between the safety zone and dangerous objects. The article provides knowledge how to fully, purposefully and quickly determine the real difference between the operation distances plan and its actual safety motion trajectory for the adaptive operational traffic control.*

**Key words:** navigation, traffic control, safety of navigation, safe distance, knowledge bases.

УДК 629.78

Кривенко Н.В.

**ВИЗНАЧЕННЯ ПРИНЦИПІВ ПОБУДОВИ АДАПТИВНОЇ КОМПЛЕКСНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЗАСОБАМИ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА**

Існуючі принципи побудови адаптивної комплексної управління засобами водного транспорту засновані, як правило, на використанні цільової процедури, згідно з якою параметри та управління оптимізуються за умови, що відображають по суті одне характерне завдання (ціль). При цьому використовується ідеологія параметричного синтезу з використанням традиційних пошукових методів оптимізації. Так, наприклад, при існуючій підходах і наявності сприятливих умов фінансування, тривалість процесу створення сучасних зразків засобів водного транспорту від задуму до першого рейсу становить мінімум 3-4 роки, а при розробці принципово нових концепцій - досягає 7-10 років. В цих умовах, природно зростає і ціна можливих помилок дослідження, особливо на його попередніх етапах при формуванні технічного завдання, парирувати які на етапі застосування систем практично неможливо.