

УДК 681.518:629.1  
UDC 681.518:629.1

## ОСОБЛИВОСТІ ТРАЄКТОРНОГО УПРАВЛІННЯ РУХОМ ВИСОКОШВИДКІСНИМИ ТРАНСПОРТНИМИ ЗАСОБАМИ В ЗОНАХ ПІДВИЩЕНОГО РИЗИКУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ПОДІЙ

Баранов Г.Л., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна  
Соболевський Г.Г., Державна інспекція України з безпеки на морському та річковому транспорті, Київ, Україна  
Прохоренко О.М., Національний транспортний університет, Київ, Україна

## FEATURES TRAJECTORY MOTION CONTROL OF HIGH-SPEED VEHICLES IN AREAS OF HIGH RISK OF DANGEROUS EVENTS

Baranov G.L., Doctor of Technical Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine  
Sobolewski G.G., State Inspection of Ukraine on security in maritime and river transport, Kyiv, Ukraine  
Prokhorenko A.M., National Transport University, Kyiv, Ukraine

## ОСОБЕННОСТИ ТРАЕКТОРНЫХ УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ В ЗОНАХ ПОВЫШЕННОГО РИСКА ОПАСНЫХ СОБЫТИЙ

Баранов Г.Л., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина  
Соболевский Г.Г., Государственная инспекция Украины по безопасности на морском и речном транспорте, Киев, Украина  
Прохоренко А.Н., Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Вступ. У сучасних умовах свобода рухатись у єдиному та спільному просторово-часовому континуумі (ПЧК) обумовлює формування зон підвищеного ризику подій (ЗПРП) стосовно загроз для безпеки життя певної кількості різних високошвидкісних транспортних засобів (ВТЗ). Зтиснення сфери гарантованої безпеки руху ВТЗ та зростання причин конфлікту, аварій, катастроф об'єктивно є наслідками: підвищення щільності транспортних потоків; підвищення швидкості руху певної категорії ВТЗ; нехтування ризиками, що зростають при порушеннях інтелектуальними агентами системи (ІАС) правил, регламентів та досвіду безаварійного руху; загрозливих явищ у конкретній локальній області прояву різноманітних екстремальних (форс-мажорних, погодно-кліматичних та соціально-технологічних) факторів впливу на транспортні об'єкти [1].

В таких умовах за критеріями безпеки руху та обов'язкового уникнення конфліктів, катастроф, аварій у ЗПРП гарантовано-адаптивне управління (ГАУ) рухом ВТЗ можливе лише при наявності додаткових та необхідних ресурсів систем навігації та управління рухом (СНУР). Складові цих необхідних та достатніх ресурсів СНУР повинні забезпечити: своєчасність та точність знання навігаційних координат початкового стану з фіксування місцеположення об'єктів та учасників руху у ЗПРП; реальні об'єктивні картини загрозливих явищ та точність прогнозу тенденцій розвитку у ПЧК динаміки впливів навколишнього середовища; планові, програмні, точні координати траєкторій та цільового термінального місцезнаходження у майбутньому фазовому стані складної динамічної системи (СДС); швидкого синтезу та знаходження законів реалізації оптимального управління на безпечних траєкторіях руху у ЗПРП [2,3].

Аналіз сучасного стану.

У області ГАУ ВТЗ аналіз сучасного стану показує, що класичні методи з жорсткими умовами заданого термінального стану перехідного процесу не дозволяють отримати кінцеву мету траєкторного управління [3]. У наслідок несинергетичного розвитку інтелектуальних транспортних систем (ІТС) всі провідні держави світу мають незадовільний рівень аварійності ВТЗ [1].

Постановка мети та задач дослідження.

Мета даної роботи – формалізувати процеси траєкторного управління на робочій поверхні транспортних потоків ЗПРП. За допомогою символічно-аналітичних моделей (САМ) знайти способи розділення ЗПРП на небезпечні (заборонені НОН) та безпечні (БОН) області навігації [4]. Задача управління рухом ВТЗ у множинах НОН та БОН, де послідовно з'єднуємо без конфліктів попередні та наступні  $\{ББО_{i-1} \rightarrow БОН_i \rightarrow БОН_{i+1}\}$  ділянки пов'язана з пошуком та отриманням бажаної неперервної траєкторії. Таким чином для безпечного (безаварійного, без кризового) руху ВТЗ

необхідно щоб кожний крок управління забезпечував віддалення від загроз, збурень, небезпек класу НОН та одночасно зближення з цільовим (target) БОН пунктом виходу із ЗППП [4,5].

Основний матеріал.

Кожний конкретний ВТЗ, як продукт сучасного прогресивного виробництва, має власну масу та незмінні геометричні розміри корпусу (умовно жорсткого твердого тіла), для якого ці параметри зафіксовані у технічному паспорті. Якщо центр тяжіння ВТЗ зв'язати з декартовою прямокутною системою координат  $XOY$ , де вісь  $ox$  спрямована вздовж вісі симетрії у напрямку швидкісного руху, а вісь  $OY$  ортогональна до  $OX$  та характеризує бічні точки корпусу, тоді можливо описати модель безпечної локальної області (без контактів з загрозами, збуреннями, завадами) навколо корпусу ВТЗ у вигляді еліпса (рис.1) з рівнянням:

$$F(x, y) = \left(\frac{x}{a}\right)^2 + \left(\frac{y}{b}\right)^2 = 1, \quad (1)$$

де  $a$  та  $b$  параметри, що відповідно характеризують відстані точок  $A, B$  та  $C, D$  відносно центра  $O$  симетрії ВТЗ.

Нагадаємо, що для розміщеного на робочій (умовно горизонтальній) поверхні транспортних потоків ЗППП відомі властивості еліпса:

$$\left. \begin{aligned} AB = 2a, CD = 2b, \vec{r}_1 + \vec{r}_2 = 2a = const, a > b, c = \sqrt{a^2 - b^2}, \\ \vec{r}_1 = \vec{MF}_1 = a - \varepsilon x, \vec{r}_2 = \vec{MF}_2 = a + \varepsilon x; \varepsilon = \frac{r_1}{d_1} = \frac{r_2}{d_2} = \frac{a}{d} = \frac{c}{d}, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

де  $d, d_1, d_2$  – відстані до директриси еліпса, відповідно до значення  $\varepsilon$ -того ексцентриситету.

$S = \pi \cdot a \cdot b$  – площа еліпса з вище означеними параметрами  $a$  та  $b$  для фактичної габаритної поверхні під час руху ВТЗ.

До кривої еліпса у точці  $M(x_m, y_m)$  існує (рис.2) дотична пряма відповідно рівнянь

$$\frac{x_m x}{a^2} + \frac{y_m y}{b^2} = 1, \quad (3)$$

$$AX + BY + C = 0, \quad (4)$$

де параметри коефіцієнтів  $A, B, C$  задовольняють умові

$$a^2 A^2 + b^2 B^2 + C^2 = 0. \quad (5)$$

Радіус кривизни (рис.2) для будь-якої точки  $M(x_m, y_m)$  даного еліпса можливо розрахувати відповідно алгебраїчних рівнянь

$$R = a^2 b^2 \left( \frac{x_m^2}{a^4} + \frac{y_m^2}{b^4} \right)^{3/2} = \frac{(r_1 \cdot r_2)^{3/2}}{a \cdot b} = \frac{P}{\sin^3 \varphi}, \quad (6)$$

де  $P = \frac{b^2}{a}$  значення параметра для вершин еліпса у точках  $A$  та  $B$ ,

$\varphi$  – кут між дотичною та радіусом-вектором у точку дотику  $M(x_m, y_m)$ ,

для вершин  $C$  та  $D$  радіус кривизни буде  $R_c = R_d = \frac{a^2}{b}$ .

На час прямолінійного руху, наприклад вздовж вісі  $OX$  еліпса, САМ, що відображає БОН ВТЗ з відомими параметрами (1 ÷ 6), може характеризувати мінімальну габаритну смугу руху (ГСР), яку умовно чи реально оточує НОН зовнішнього середовища (рис.3) даної ЗППП.

В умовах прямолінійного руху ВТЗ бічні паралельні лінії (це межі між НОН та БОН), які з (3) мають вигляд:

$$\left. \begin{aligned} y_c(t) = +b = const_1, x(t) = var \\ y_d(t) = -b = const_2, x(t) = var \end{aligned} \right\} \quad 0 \leq t \leq T. \quad (7)$$

У даному частковому випадку курс руху ВТЗ співпадає з вектором поступового прямування вздовж вісі  $OX$ . У загальному випадку маневрування ВТЗ на горизонтальній поверхні ЗППІ точки еліпса  $M(x_m, y_m)$  САМ будуть описувати відповідні криві, які залежать від швидкості руху центра тяжіння ВТЗ та вектора його курсу у поточних фізичних умовах дій факторів навколишнього середовища.

Одноманітність дій всіх активних впливів на ВТЗ визначає реальну особливість динаміки руху. Закон зміни СДС – ВТЗ з урахуванням реакцій в'язів визначаємо наступним чином. В довільний інтервал часу  $t_i$  у межах допоміжного кола (рис. 1 та 3) рух точки  $M(x_m, y_m)$  за умов місцезнаходження її на траєкторії управління, тобто на даній еліптичній кривій БОН (рис.3), рух умовно твердого тіла відбувається за двома складовими: обертальний рух ВТЗ навколо нерухомої осі  $OZ$  (паралельної осі  $CZ$  на рис.4); плоско паралельний рух в площині  $O\eta\varepsilon$ . Утримуючі реакції  $\vec{R}_i$  в контактних плямах зчеплення коліс ВТЗ збігаються з нормаллю до  $XOY$  поверхні. Можливі віртуальні переміщення  $\delta\vec{r}_i$  спрямовані по дотичній до поверхні, де реалізується робота всіх елементарних сил та моментів.

Диференціальні рівняння плоскопаралельного руху твердого тіла масою  $m$  під дією сукупності сил  $\vec{F}_i$ , які паралельні нерухомій площині  $OXY$  визначають координати полюса  $C$  та кут  $\varphi$  повороту рухомої системи координат  $O\eta\varepsilon$ . Для кількості ступенів вільності тіла  $N=3$  можливо визначити узагальнені координати  $q_1 = x_c, q_2 = y_c, q_3 = \varphi$  (рис. 4). За означених умов система рівнянь Лагранжа другого роду відносно узагальнених координат приймає вигляд [7].

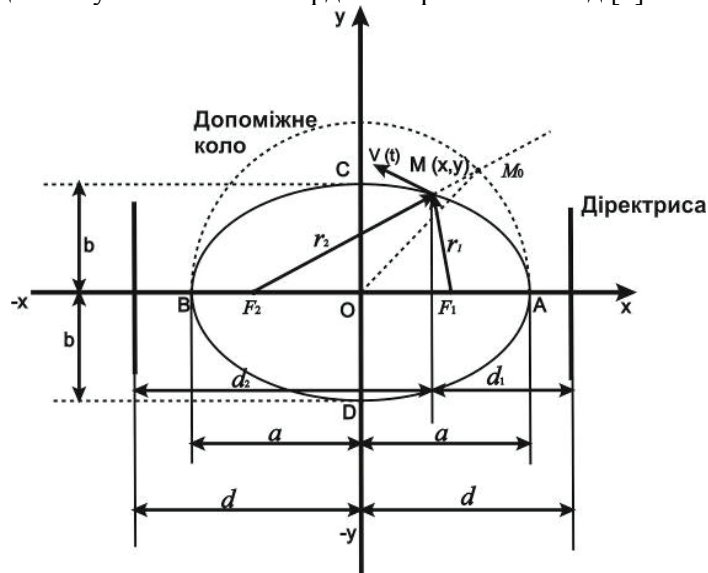


Рисунок 1 – Визначальні параметри в координатах  $XOY$  для канонічної симетричної поверхні кола та еліпсу

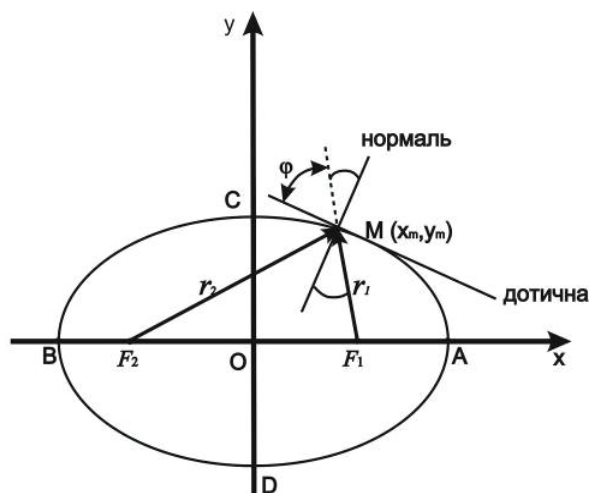


Рисунок 2 – Геометрична інваріантність двох бісектрис у вигляді дотичної та нормалі через будь-яку точку  $M(x_m, y_m)$  еліпса, які відповідно поділяються зовнішній та внутрішній кути між радіусами-векторами з фокусів  $F_1$  та  $F_2$  даної еліптичної поверхні руху

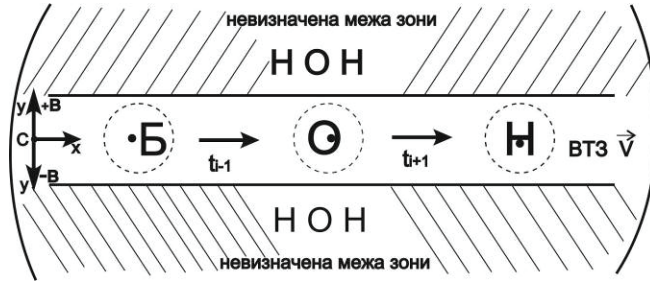


Рисунок 3 – Еквідистантні параметри безпечної області навігації та габаритної смуги руху ВТЗ у екстремальних умовах впливу змінних обмежень та факторів зовнішнього середовища ЗПРП

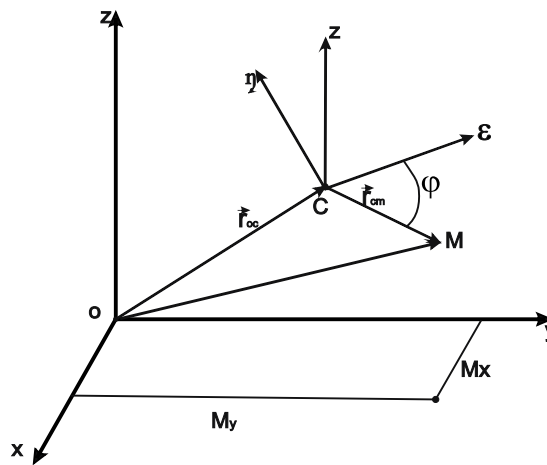


Рисунок 4 – Взаємозв'язок нерухомої ZOXY та рухомої zcηε систем координат для визначення динаміки  $M(t)$  відносного руху матеріальної точки

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{x}} - \frac{\partial T}{\partial x} &= Q_x = R_x, \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{y}} - \frac{\partial T}{\partial y} &= Q_y = R_y, \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} - \frac{\partial T}{\partial \varphi} &= Q_\varphi = M_{cz}. \end{aligned} \quad (8)$$

Згідно теореми про роботу узагальнених сил, що діють на абсолютно тверде тіло, маємо

$$\delta A = \vec{R} \delta \vec{r}_0 + \vec{M}_0 \delta \varphi = R_x \delta x + R_y \delta y + M_{cz} \delta \varphi. \quad (9)$$

За теоремою Кеніга кінетична енергія тіла буде мати значення

$$T = \frac{mV_c^2}{2} + \frac{\varphi_c \omega^2}{2}, V_c^2 = \dot{x}_c^2 + \dot{y}_c^2, \omega = \dot{\varphi}. \quad (10)$$

З урахуванням вищевказаних відношень (8-10) після відповідних аналітичних перетворень отримаємо для плоскопаралельного руху тіла наступні диференціальні рівняння

$$\begin{aligned}\ddot{x}_c &= R_x/m, \\ \ddot{y}_c &= R_y/m, \\ \ddot{\varphi} &= M_{cz}/\varphi_c,\end{aligned}\tag{11}$$

де  $R_x$  і  $R_y$  – проекції головного вектора сил на нерухомій  $OX$  та  $OY$  осі координат;

$M_{cz}$  – головний момент сил відносно полюса  $C$  рухомої системи  $O\eta\varepsilon$  координат.

У реальних умовах інтегровані узагальнені змінні  $R_x$ ,  $R_y$ ,  $M_{cz}$  залежать лише від режимів роботи двигуна ВТЗ, законів оперативного управління, а також від сил опору середовища на всіх контактних поверхнях ВТЗ. Тому на практиці система диференціальних рівнянь з степеневими та квадратичними залежностями сил опору від швидкості руху об'ємного тіла ВТЗ буде нелінійною, особливо в умовах не стаціонарності потужностей сил різних видів зовнішнього збурення[4-6].

Конкретний збіг реальних обставин СДС впливає на особливості та специфіку форми кривої, яка визначається як розв'язок нелінійних диференціальних рівнянь (11), за умов їх доповнення функціональними залежностями  $R_x(x, y, z, t)$ ,  $R_y(x, y, z, t)$  та  $M_{cz}(x, y, z)$  відповідно до балансів сил і моментів рушія, керма та опору зовнішнього середовища.

Урахування значень інтегрованих параметрів маси  $m$  та моменту інерції  $I_c$  для реальних ВТЗ, що завантажені, дозволяє характеризувати розв'язок та відповідний йому рух у ПЧК як неперервний чи гладкий [3, 7].

Поняття функції класу гладкості  $C^k$  означає, що така функція має неперервні часткові похідні від першого до  $k$  порядку включно. Можливі наступні формальні записи вектор-функції розв'язку

$$r(u, \vartheta, \varphi) = \{x(u, \vartheta, \varphi), y(u, \vartheta, \varphi), z(u, \vartheta, \varphi)\} \in C^k,\tag{12}$$

де  $x, y, z$  – координати та  $u, \vartheta, \varphi$  не змінюють інваріант, який визначає властивість неперервності по повній сукупності аргументів динаміки ВТЗ.

Двопараметричні способи задання кривої (наприклад, траєкторії руху тіла на площині) давно відомі:  $f(x, y) = 0$  неявний вигляд;  $f(x, y, z) = 0 \cap g(x, y, z) = 0$  перетин двох поверхонь в просторі  $R^3$ ;  $\vec{r}(u, \vartheta) | f(u, \vartheta) = 0 \wedge f_1(x, y, z, t) = f_2(x, y, z, t) = f_3(x, y, z, t) = 0$  завдання сім'ї дотичних. Кожний з означених способів визначає одну й таку ж криву. Але траєкторне управління рухом ВТЗ потребує своєчасного врахування обмежень на використання кожної функції відповідно до її специфіки характеристики стосовно конкретної задачі та способу висловлення завдання. Знаходження раціональних та ефективних розв'язків треба реалізовувати у конструктивній формі алгоритмічно означеної послідовності виконання операцій. Управління рухом ВТЗ залежить від реальної сукупності наявних даних, отриманих від засобів вимірювання, моніторингу, спостереження за рухом ВТЗ у поточному поступовому наближенні до небезпечних об'єктів або факторів, віднесених до категорії НОН[4-6].

База даних стосовно можливих ризиків НОН визначає наступні ситуації:

- підвищення щільності рухомих ВТЗ у ЗППП конкретного ПЧК;
- ускладнення обставин для роботи системи навігації та зростання ризиків втрат точності координат місцеположення;
- специфіка соціальних та індивідуально психологічних людських факторів, що сприяють порушенню правил управління ВТЗ;
- коливання швидкості руху кожного ВТЗ відповідно до варіацій групового руху у транспортних потоках;
- зростання середньої швидкості перехідних процесів ГАУ під час обгонів, повертань та маневруванні;
- диференціація маневрених можливостей між різними видами та типами транспортних засобів;
- інтеграція, спрямування різноманітних пригод з аваріями (ДТП) до певних місць у ПЧК з особливостями погоди, рельєфу, географії транспортних трас та коридорів.

Для того, щоб ВТЗ рухався у БОН, необхідні зусилля на зменшення типових ризиків, які відомі згідно накопиченої статистики ДТП. Кожний спосіб зменшення ризику аварії у ЗППП буде ефективним лише за умов своєчасного упередження від зайвих (некорисних) витрат властивостей локальних потенціалів якості БОН. Можливо орієнтуватись на чотири напрями досягнення бажаної ефективності відповідно до наступних способів:

- організаційні процедури та засоби підвищення кваліфікації IAS;
- технічні з удосконаленням сфер автоматизації та механізації засобів СНУР, САМ, ГАУ, ВТЗ;
- технологічні з своєчасною оптимізацією [7] норм, зв'язків, правил, параметрів реалізації виробничої діяльності для отриманні цільових ефектів вцілому ITS;
- управлінські з мінімізацією витрат наявних ресурсів та максимізацією прибутків за кожний життєвий цикл функціонування ITS.

Найбільші витрати ресурсів (аж до 100% при вибухах, пожежах, катастрофах) мають місце в аварійних, позаштатних, екстремальних режимах експлуатації ВТЗ. Тому ефективне зниження ризиків (аварій, зіткнень, катастроф за будь-яких причин) вимагає системного підходу. Для цього слід реалізовувати комплекс засобів на всіх етапах розвитку ITS, фазах виконання IAS транспортної роботи, включаючи спільні зусилля полієргатичних виробничих організацій (ПЕВО).

Принципи ергатичного управління СДС за допомогою ПЕВО дозволяють гарантувати безпечну (максимально без аварій, без збитків, без зіткнень) практику експлуатації ВТЗ. Це досягне, якщо дозвіл на рейс (вихід на конкретний маршрут реалізації завдань) видає відповідальна особа, яка на принципах страхування попереджує про поточні загрозові, небезпечні, форс-мажорні фактори впливу зовнішнього середовища у межах ПЧК з маршрутами руху. У випадках помилок та похибок з вини ПЕВО всі втрати, що реально відбулись під час ініційованого ними руху ВТЗ, покриває у повному обсязі такий страхувальник. Комплекс відповідних документів, процедур, правил та нормативів і рекомендацій поступово відпрацьовується міжнародними транспортними організаціями у вигляді стандартів для ITS.

Існуючі бази даних про інциденти скоєних аварій неможливо використовувати для точного прогнозу ймовірностей ризиків найбільш поширених правопорушень, які відбуваються реально під час конкретних обгонів та різних видів зіткнень. Знання інтервалів пікових навантажень (з ранку до початку робочого дня та ввечері по його завершенні) не уточнює та не знижує складність всіх умов СДС, які впливають на безпеку траєкторного управління рухом конкретного ВТЗ.

Удосконалення та розширення сфер безпечного траєкторного управління рухом ВТЗ потребує відповідного розвитку методів моделювання: нелінійної динаміки руху ВТЗ згідно рівнянь (11); геометричного моделювання змін БОН з урахуванням (1, 2) розмірів корпусу ВТЗ; кінематичних особливостей дотичних (3, 4) й радіусів кривизни (6) вздовж траєкторії руху ВТЗ у процесах маневрування у ЗППП.

Саме вищезначені особливості траєкторного управління рухом ВТЗ в екстремальних умовах підвищеного ризику є основою [7] побудови ГАУ СНУР з властивостями функціональної стійкості до зовнішніх збурень та внутрішніх відмов обладнання з дефектами.

Висновки.

Запропонована формалізація процесів траєкторного управління рухом ВТЗ на робочій поверхні для транспортних потоків має наступні переваги.

1. Функціональні залежності між визначальними параметрами реального руху ВТЗ базуються на диференціальних рівняннях Лагранжа другого роду.
2. Спеціальна структура моделювання фізичних закономірностей нелінійних явищ адекватна реальним фактам експлуатаційного досвіду безаварійних перевезень у складних умовах впливу зовнішнього середовища.
3. Підвищення точності моделювання нелінійної динаміки руху ВТЗ гарантується конструктивною та функціональною повною алгоритмізацією для різноманітних конкретних умов завдання на синтез законів траєкторного управління при наявності зовнішніх та внутрішніх збурень й відмов.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Aviation Accident Statistics [Electronic resource]/ National Transportation Safety Board. – Mode of access: [www.nts.gov/aviation/aviation.htm](http://www.nts.gov/aviation/aviation.htm). – Last access: 2012 – Title from the screen.
2. Котик М.А. Природа ошибок человека-оператора на примерах управления транспортными средствами./ М.А. Котик, А.М. Емельянов. – М.: Транспорт, 1993. – 252 с.

3. Волгин Л.Н. Оптимальное дискретное управление динамическими системами / Под ред. П.Д. Крутько / Л.Н. Волгин. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1986. – 240с.
4. Баранов Г.Л. Принципи гарантування рівнів безпеки руху водних транспортних засобів в сучасних умовах / Г.Л. Баранов, Г.Г. Соболевський, І.В. Тихонов // Водний транспорт. Збірник наук. праць Київської державної академії водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича – Сагайдачного. – К.: КДАВТ. 2013. – №1(16). – С. 7-13
5. Баранов Г.Л. Функціональна стійкість навігаційного обслуговування безпеки судноплавства на внутрішніх водних шляхах / Г.Л.Баранов, А.М.Носовський, І.В. Тихонов // Монографія. – К.:КДАВТ. 2012. – 149с.
6. Баранов Г.Л. Фундаментальні властивості та відношення в сучасних системах навігації зв'язку та управління рухом / Г.Л. Баранов, А.М. Носовський, В.І. Тарасюк // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІНУ. 2011. – Вип 1(17) – с.2-9
7. Миллер Б.М. Оптимизация динамических систем с импульсными управлениями / Б.М. Миллер, Е.Я. Рубинович; [отв.ред. Н.А. Кузнецов]; Ин-т проблем передачи информ. (ИППИ); Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова (ИПУ). – М.: Наука, 2005. – 429с.

#### REFERENCES

1. Aviation Accident Statistics [Electronic resource] / National Transportation Safety Board. – Mode of access: [www.nts.gov/aviation/aviation.htm](http://www.nts.gov/aviation/aviation.htm). – Last access: 2012 – Title from the screen.
2. Kotik M.A., Emelyanov A.M. Priroda oshybok cheloveka-operatora na primerah upravleniya transportnymi sredstvami [Nature of the human operator errors examples driving]. Moscow: Transport, 1993. 252p. (Rus)
3. Volgyn L.N. Optimalnoe diskretnoe upravlenie dinamicheskimi sistemami [Discrete optimal control of dynamic systems]. Moscow: Nauka. Section. eds. fyz.-mate. lit. 1986. 240p. (Ukr)
4. Baranov G.L., Sobolewski G.G., Tikhonov I.V. Principi garantuvanie rivniv bezpeki ruhu vodnih transportnih zasobiv v suchasnikh umovakh [Principles guaranteeing safety of aquatic vehicles in modern conditions]. Water Transport. Collection of Sciences. works of Kyiv State Academy of Water Transport named after hetman Petro Konashevich – Sagaydachny. Kyiv: KDAVT. 2013. № 1 (16). P. 7-13 (Ukr)
5. Baranov G.L., Nosovskiy A.M., Tikhonov I.V. Funktsionalna stiykist navigatsiynogo obslugovuvanya bezpeki sudnoplavstva na vnytrishnikh vodnikh sclyakhakh [Functional stability navigation service navigation for safety on inland waterways]. Monograph. Kyiv: KDAVT. 2012. 149 p. (Ukr)
6. Baranov G.L., Nosovskiy A.M., Tarasyuk V.I. Fundamentalni vlastivosti ta vidnoshenya v suchasnikh sistemakh navigatsii zvyazku ta upravlinia rukhom [Fundamental properties and relations in modern navigation systems and air traffic control communications]. Control systems, navigation and communication. Kyiv: TSNDINU. 2011. Issue 1 (17). P.2-9 (Ukr)
7. Miller B.M., Rubinovich E.YA. Optimizatsiya dinamicheskikh system s impulsnymi upravleniyami [Optimization of dynamic systems with impulse controls]. Moscow: Nauka, 2005. 429p. (Rus)

#### РЕФЕРАТ

Баранов Г.Л. Особливості траєкторного управління рухом високошвидкісними транспортними засобами в зонах підвищеного ризику небезпечних подій. / Г.Л. Баранов, Г.Г. Соболевський, О.М. Прохоренко // Вісник Національного транспортного університету. – К. : НТУ, 2013. – Вип. 28.

Розроблена формалізована модель процесів траєкторного управління рухом високошвидкісних транспортних засобів на робочій поверхні зони підвищеного ризику небезпечних подій. Запропонована модель забезпечує повноту та адекватність відображення базових взаємозв'язків між головними показниками розвитку конфліктів та загрозливих обставин. Системні особливості моделі підвищують точність аналізу та ефективність безпечних законів траєкторного управління рухом без аварій.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** БЕЗПЕКА РУХУ, УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЯ, ТРАЄКТОРІЯ, РИЗИК

#### ABSTRACT

Baranov G.L., Sobolewski G.G., Prokhorenko A.M. Features high-speed motion control trajectory of vehicles in areas at risk of hazardous events. Visnyk National Transport University. – Kyiv. National Transport University. 2013. – Vol. 28.

Formalized process model for trajectory control of high-speed vehicles on the working surface area of high risk of dangerous events is developed. The model provides a complete and adequate reflection of the basic relationships between the main indicators of conflict and threatening circumstances. System features of

the model increase the analysis accuracy and the effectiveness of safety laws trajectory motion control without crashing.

KEYWORDS: VEHICLES SAFETY, OPERATION NAVIGATION, TRAJECTORY, RISK

#### РЕФЕРАТ

Баранов Г.Л. Особенности траекторного управления движением высокоскоростных транспортных объектов в зонах повышенного риска опасных ситуаций. / Г.Л. Баранов, Г.Г. Соболевский, А.Н. Прохоренко // Вестник Национального транспортного университета. — К. : НТУ, 2013. — Вып. 28.

Разработана формализованная модель для отображения процессов траекторного управления движением скоростных объектов транспорта при нахождении их на рабочей поверхности зоны повышенного риска аварийных происшествий. Предлагаемая модель обеспечивает полноту и адекватность моделирования базовых взаимных связей между главными показателями динамики, включая процессы изменения конфликтов и форс-мажорных обстоятельств.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ, УПРАВЛЕНИЕ, НАВИГАЦИЯ, ТРАЕКТОРИЯ, РИСКИ.

#### АВТОРИ:

Баранов Г.Л., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри інформаційних систем і технологій, тел. 280-70-66, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова, 1, к. 347а.

Соболевський Г.Г. голова інспекції, Державна інспекція України з безпеки на морському та річковому транспорті, e-mail: gsobolewsky@gmail.com, тел. (044) 351-44-01, Україна, 87500, м. Маріуполь, вул. Просторна, 32

Прохоренко О.М. Національний транспортний університет, аспірант кафедри інформаційних систем і технологій, тел. 280-70-66, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова, 1, к. 347а.

#### AUTHOR:

Baranov G.L., Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, Professor, Department of Information Systems and Technology, tel. 280-70-66, Ukraine, 01010, Kyiv, str. Suvorov, 1, k 347th .

Sobolewski G.G. head office, State Inspection of Ukraine on security in maritime and river transport, e-mail: gsobolewsky@gmail.com, tel. (044) 351-44-01, Ukraine, 87500, Mariupol, str. Spacious, 32

Prokhorenko A.M. National Transport University, postgraduate, department of Information Systems and Technology, tel. 280-70-66, Ukraine, 01010, Kyiv, str. Suvorov, 1, k 347th .

#### АВТОРЫ:

Баранов Г.Л., доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, профессор кафедры информационных систем и технологий, тел. 280-70-66, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова, 1, к. 347а .

Соболевский Г.Г., начальник инспекции, Государственная инспекция Украины по безопасности на морском и речном транспорте, e – mail: gsobolewsky@gmail.com, тел. (044)351-44-01, Украина, 87500, г. Мариуполь, ул. Просторная, 32

Прохоренко А.Н. Национальный транспортный университет, аспирант кафедры информационных систем и технологий, тел. 280-70-66, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова, 1, к. 347а

#### РЕЦЕНЗЕНТИ:

Прокудин Г.С. доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, Завідуючий кафедрою міжнародних перевезень та митного контролю.

Хорошко В.О. доктор технічних наук, професор, Національний авіаційний університет професор кафедри безпеки інформаційних технологій.

#### REVIEWER:

Prokudin G.S., Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, Head of department “International Freights Shipments and Customs Control”.

Khoroshko V.O., Doctor of Technical Science, Professor, National Aviation University, Professor, Department of Information Technology Security.