

УДК 681.3:62.50:004:942

А.М. Носовський

*Київська державна академія водного транспорту  
імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного, Київ*

## ІНВАРІАНТНІ ФУНКЦІЇ ОПИСУ НАВІГАЦІЙНИХ СТАНІВ ПРОСТОРОВОГО РУХУ СУДНА

*Розроблені інваріантні функції перетворення дискретизованих часових рядів даних GPS спостереження за рухом судна у формалізовані символічні ознаки класифікації поточних навігаційних станів у складній динамічній системі. Методика апробована на реальних натурних даних під час режимів маневрування судна. Результати засвідчують високу ефективність запропонованих індикаторних функцій.*

**Ключові слова:** навігація, управління, динаміка руху, безпека, стани, події, символічні перетворення.

### Вступ

**Актуальність дослідження.** Дослідження розвитку та трансформації неявиких (опосередкованих) зв'язків, які визначають особливості процесу руху твердого тіла в просторово-часовому континуумі з впливом факторів дії навколишнього середовища здійснила велика когорта вітчизняних та закордонних вчених [1 – 7]. Під час експлуатації мобільних засобів транспорту існують різні динамічні режими функціонування з причин: дії стохастичних збурень, перешкод та шумів; нелінійності та багатофакторності функціональних залежностей; параметричної нестаціонарності та чутливості до зовнішніх впливів; переключення відповідно вибору при прийнятті рішень; багатокритеріальності та різноманіття обмежень з нелінійними особливостями. Сучасні системи навігації та управління рухом (СНУР) суден та іншими об'єктами водного транспорту (ОВТ) не у повній мірі відповідають зростаючим вимогам за критеріями безпеки руху та підвищення ефективності управління у складних умовах плавання в зонах підвищеного ризику подій (ЗПП) типу аварійних загроз та зіткнень [1 – 3]. В умовах реальної динаміки руху та невизначеності сукупності факторів впливу навколишнього середовища на ОВТ в ЗПП дуже складно знайти ознаку – ініціатор актів дії щодо прискореного попередження небажаного розвитку процесів у бік зіткнень, аварій та катастроф. Протиріччя між ціною щодо перспективної СНУР та якістю її роботи у режимах реального часу обумовлюють необхідність розробки спеціалізованих індикаторних функцій, які забезпечують швидкість класифікації ситуаційної динаміки в ЗПП [2 – 7].

**Сучасний стан досліджень.** Високошвидкісні транспортні засоби (ВТЗ) з ряду причин використовують раціональні системи гарантовано-адаптивного управління (ГАУ) [8 – 10]. Найбільш вагомий недолік існуючих бортових програмно-апаратних комплексів (ПАК), які реалізують функції ГАУ ВТЗ, пов'язаний з необхідністю витрат значних ресурсів у режимах реального часу маневрування у межах габаритної смуги руху (ГСР). Шлях використання багатоядерних проце-

сорів, побудови нейромереж СНУР та використання спеціалізованих аналого-цифрових обчислювачів пов'язаний з підвищенням вартості бортових ПАК ГАУ ВТЗ, тому що треба приймати прискорені та безпомилкові рішення стосовно наступних керуючих дій з запобігання зіткнень, ухилення від небезпек, попередження аварій [9].

**Мета роботи.** Розробка індикаторних функцій, які ефективно перетворюють поточні зашумлені числові дані часових залежностей у семантичні символи. Вони повинні однозначно класифікувати навігаційні стани під час руху ВТЗ у межах ГСР.

**Постановка задачі.** Сучасні та перспективні системи навігації та управління рухом (СНУР) ВТЗ побудовані на застосуванні сигналів глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС - GNSS типа GPS / ГЛОНАСС / GALILEO). Бортовий прийомоіндикатор ГНСС з заданим кроком дискретизації (наприклад 1÷5 Гц) видає чисельні значення місцеположення (широта, довгота, висота) ВТЗ у даний час вимірювання параметрів траєкторії, включаючи значення миттєвої швидкості мобільного об'єкта у поточній ЗПП.

В диференціальних режимах навігації під час спільної роботи ГНСС та контрольно-корегуючих станцій наземної інфраструктури суттєво підвищується точність параметрів місцевизначення ВТЗ, але не виключається шумова складова (noise). Саме для цих реальних умов руху ВТЗ у межах ГСР запропоновані індикаторні функції. Вони дозволяють безпосередньо за поточними даними GNSS спостереження даного ВТЗ проводити прискорену класифікацію навігаційних станів динаміки твердого тіла, на який впливають опір в'язкого тертя та інерційні сили, включаючи приєднані маси деформованого навколишнього середовища [2 – 7].

### Основний матеріал

Побудову індикаторних функцій здійснюємо шляхом застосування базових законів динаміки про інтегральні тотожності дії та протидії [4 – 7]. В еквівалентному вигляді це узагальненні інтегральні рівняння Гамільтона-Остроградського.

$$\int_{t_1}^{t_2} (\delta T^{(1)} + \delta^1 A^{(1)} + \delta A^{(12)}) dt = 0 \text{ при } \overline{\delta r^{(1)}} \in D_1; \quad (1)$$

$$\int_{t_1}^{t_2} (\delta T^{(2)} + \delta^1 A^{(2)} + \delta^1 A^{(21)}) dt = 0 \text{ при } \overline{\delta r^{(2)}} \in D_2, \quad (2)$$

де  $T^{(i)}, \forall i=1,2$  – кінетична енергія двох взаємодіючих підсистем;  $\delta^1 A^{(i)}, \forall i=1,2$  – віртуальні роботи сил, які не є силами взаємодії першої та другої підсистем;  $\delta^1 A^{(12)}, \delta^1 A^{(21)}$  – відповідно віртуальні роботи сил саме взаємодії між підсистемами;  $D_1, D_2$  – множини віртуальних траєкторій відповідних підсистем, причому множина віртуальних траєкторій  $D_0 = D_1 \cap D_2$  є накладанням результатів спільної взаємодії під час віртуальних  $\overline{\delta r^{(1)}}$  та  $\overline{\delta r^{(2)}}$  рухів з урахуванням сил інерції, приєднаних мас тощо.

Під час GNSS спостережень за допомогою навігаційної апаратури споживачів (НАС), яка знаходиться на борту ВТЗ – ОБТ сили Даламбера можуть мати різну фізичну природу, що в цілому визначає конкретну траєкторію реального руху у середовищі. Нехай за кроком дискретизації  $h = (t_i - t_{i-1}) = \text{const}$  три послідовні виміри часового ряду  $x(t)$  визначають три значення  $\{\hat{x}_{i-1}, \hat{x}_i, \hat{x}_{i+1}\}$  певного ПАК з використанням НАС ГНСС. Просте відношення на базі таких трьох точок має вираз

$$\lambda_i = \frac{\hat{x}_i - \hat{x}_{i-1}}{\hat{x}_{i+1} - \hat{x}_i} = \frac{\hat{x}_{i-1} - \hat{x}_i}{\hat{x}_i - \hat{x}_{i+1}} = \frac{\hat{\Delta}_{(i-1)i}}{\hat{\Delta}_{(i+1)i}}. \quad (3)$$

Якщо вимір відрізняється від нормованого (програмного, планового, стаціонарного) значення, тоді він характеризується [11, 12]

$$\hat{x}_i = x_i + \varepsilon_i, \forall i = \overline{1, n}, \quad (4)$$

де  $x_i$  – нормовані дискретні значення параметра часового ряду;  $\varepsilon_i$  – похибка апаратного приладу, який має відповідний закон  $0 \leq p(x) \leq 1$  розподілу щільності відхилення від еталону у наслідок факторів впливу довкілля.

Інтервальна оцінка згідно теорії ймовірності для параметра  $\bar{x}$ , що оцінюємо [13] у межах інтервалу  $[\bar{x} - \varepsilon; \bar{x} + \varepsilon]$ , дорівнює  $\gamma$ , згідно виразу

$$P(\bar{x} - \varepsilon < x < \bar{x} + \varepsilon) = \gamma \text{ або } P(|\bar{x} - x| < \varepsilon) = \gamma. \quad (5)$$

За нормальним законом розподілу щільності при умові заданого середньоквадратичного відхилення  $\delta$  та об'єму вибірки  $n$  можливо мати функціональний зв'язок з заданим значенням надійної ймовірності  $\gamma$  згідно відомого [13] співвідношення

$$P\left(\bar{x} - \frac{t\delta}{\sqrt{n}} < x < \bar{x} + \frac{t\delta}{\sqrt{n}}\right) = 2\Phi(t) = \gamma, \quad (6)$$

де параметри  $\bar{x}, \sigma, n$  відомі, тобто задані;  $\Phi(t)$  – інтеграл Лапласа, табульований у вигляді таблиці.

Інтегральна Лапласа теорема визначає [13] ймовірність того, що число настання події  $A$  при  $n$  випробуваннях лежатиме в межах від  $K_1$  до  $K_2$

( $K_1 < K_2$ ) дорівнює залежності

$$P_n(K_1, K_2) \cong \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{x_1}^{x_2} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx, \quad (7)$$

де  $x_i = (K_i - np) / \sqrt{npq}$ ,  $q = (1 - p)$ ,  $\forall i = 1, 2$ .

З таблиці функції Лапласа знаходимо параметр  $t$  по заданим значенням  $\bar{x}, \delta, n, \gamma$ . Після чого отримуємо (4) співвідношення між надійним інтервалом  $[\bar{x} - t\delta/\sqrt{n}; \bar{x} + t\delta/\sqrt{n}]$  з параметром  $\gamma$  надійною ймовірністю.

Оцінка ймовірності того, що неперервна випадкова величина  $X$  відхилиться від свого середнього значення  $a$  не більш ніж як на  $EX$  дорівнює 0,5 записується у вигляді

$$P(|X - a| \leq EX) = 1/2, \quad (8)$$

де  $EX \approx 0,67456 \delta$  для нормально закону розсіювання значень випадкової величини  $X$ .

При нормальному (гауссівому) розподілі випадкової величини справедливі правила однієї, двох та трьох значень середньоквадратичного відхилення, а саме

$$P(a - \varepsilon \leq x \leq a + \varepsilon) = 0,6827\dots;$$

$$P(a - 2\varepsilon \leq x \leq a + 2\varepsilon) = 0,9544\dots;$$

$$P(a - 3\varepsilon \leq x \leq a + 3\varepsilon) = 0,9937\dots \approx 1,$$

де  $a$  – математичне сподівання випадкової величини  $X$ ;  $\varepsilon(\delta)$  – середньоквадратичне відхилення  $X$ .

Якщо знати диференціальну функцію  $f(x)$ , яка визначає щільність ймовірності випадкової величини  $X$  у точці  $x$ , тоді можливо обчислити ймовірність  $P(\alpha \leq x < \beta)$  того, що випадкова величина  $x$  набуде свого значення в інтервалі  $(\alpha, \beta)$ , тобто

$$P(\alpha \leq x < \beta) = \int_{\alpha}^{\beta} f(t) dt, \quad (9)$$

де значення ймовірності чисельно дорівнює площі криволінійної трапеції з бічними сторонами, які визначені положенням меж  $\alpha$  та  $\beta$  на вісі  $x$ ;  $f(t)$  – первісна функція, яка не є елементарною й тому обчислюється (6), (7) за допомогою таблиць функцій  $\Phi(t)$  Лапласа [13]. Просте відношення (3) з урахуванням (4) отримує вигляд

$$\lambda_i = \frac{\Delta_{(i-1)i} + (\xi_{i-1} - \xi_i)}{\Delta_{(i+1)i} + (\xi_i - \xi_{i+1})}, \forall i = \overline{1, n}. \quad (10)$$

Аналіз відношення (5) дозволяє стверджувати, що для аналітичних часових рядів  $x(t)=f(x,t)$  (наприклад, виду поліноміальної апроксимації  $x(t_i) = \sum_{i=0}^n a_i t^i$  за методом найменших квадратів [14] можливо оцінити «трубку» допуску на критеріальний параметр

$$\lambda_i = \lambda_H \pm \xi_i, |\xi_i| = |\lambda_i - \lambda_H|, \quad (11)$$

який може бути віднесено до одного класу з двох можливих станів

$$K\xi_i \begin{cases} 1, & \xi_i > \xi_H \\ 0, & \xi_i \leq \xi_H \end{cases} \quad (12)$$

Коли  $K\xi_i = 0$ , ( $\xi_i \leq \xi_H$ ), тоді система знаходиться в нормальному режимі експлуатації, що має нормовані (у допуску) відхилення від програмних значень часового ряду. Навпаки, коли  $K\xi_i = 1$ , ( $\xi_i > \xi_H$ ), тоді система збурена, та у наслідок цього режимні експлуатаційні параметри значно більше (вийшли з «трубки» допуску) відхилені. Тому у такому випадку слід швидко приймати рішення та діяти згідно мети та завдань стосовно маршруту руху ВТЗ та програмної траєкторії [10 – 12] судна.

Надамо оцінку значення  $\lambda_i$  в нормальному експлуатаційному режимі для якого корисний сигнал перевищує природний шум.

Нехай відомо, що  $\max \Delta_{(i-1)i}$  або  $\max \Delta_{(i+1)i}$  парного відхилення двох сусідніх вимірів за умов, що крок дискретизації роботи НАС ГНС дорівнює  $h = \text{const}$  протягом інтервалу спостереження, визначено як  $\Delta_{\text{sup}}$ . Тоді вираз (10) можливо представити у еквівалентному вигляді

$$\lambda_i = \frac{\Delta_{(i-1)i} / \Delta_{\text{sup}} + (\xi_{i-1} - \xi_i) / \Delta_{\text{sup}}}{\Delta_{(i+1)i} / \Delta_{\text{sup}} + (\xi_i - \xi_{i+1}) / \Delta_{\text{sup}}} = \frac{1 + \nabla \xi_{(i-1)i}}{1 + \nabla \xi_{(i+1)i}} \quad (13)$$

Що дозволяє, з урахуванням малих значень впливу шумової складової  $\nabla \varepsilon(i-1)$  та  $\nabla \varepsilon(i+1)$  у межах ковзного вікна довжиною три послідовних виміри, отримати оцінку у вигляді

$$\lambda_i = 1 \pm \delta_i, \quad \delta_i < 0,25, \quad \forall i = \overline{1, N}, \quad (14)$$

де  $\delta_i \leq \delta_{\text{sup}}$  – нормоване значення меж коливань параметра  $\lambda_i$  в реальних умовах класу «нормальний режим» руху ВТЗ на ділянці ВВШ.

Якщо на малому інтервалі дискретизації динамічного процесу заданий крок вимірювання, наприклад  $h = 1 \text{с} = \text{const}$ , та можливо надати інтерпретацію, що швидкість руху судна  $V_x = \text{const}$ , тоді для зміни пройденого шляху дійсні аналітичні рівності та відповідне просте відношення

$$\left. \begin{aligned} x_i &= x_{i-1} + V_x \cdot h \\ x_{i+1} &= x_i + V_x \cdot h \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left( \frac{x_i - x_{i-1}}{x_{i+1} - x_i} \right) = \left( \frac{V_x h}{V_x h} \right) \equiv 1 = \lambda_i, \quad \forall i \in I. \quad (15)$$

В практичних вимірюваннях в умовах експлуатації завжди діють похибки приладів, які оцінені згідно метрологічних випробувань даного інструмента та визначеної методичної похибки принципу вимірювання даного параметру НАС.

Класи передаварійних, аварійних та екстремальних режимів роботи під час руху НАС ГНС обумовлюють разом з класом «нормальний режим» СНУР повну область зміни оцінки для простого відношення

$$\lambda_i = \left( \frac{x_{i-1} - x_i}{x_i - x_{i+1}} \right) = \frac{\Delta_{12}}{\Delta_{23}} = \begin{cases} > 1 + \delta_{\text{sup}}, & \Delta_{12} > \Delta_{23} (1 + \delta_{\text{sup}}) \text{ локальне гальмування} \\ \cong 1 \pm \delta, & \Delta_{12} \approx \Delta_{23} \text{ (норма) стабілізація} \\ < 1 - \delta_{\text{sup}}, & \Delta_{12} < \Delta_{23} (1 - \delta_{\text{sup}}) \text{ локальне прискорення} \end{cases} \quad (16)$$

Нагадуємо, що під час руху ВТЗ на ділянках ВВШ  $|\Delta_{12}| > 0$  та  $|\Delta_{23}| > 0$ , тому що  $v(t) \neq 0$ ,  $\forall 0 < t < T$  під час рейсу ОБТ заданим маршрутом.

Запропонована методика комплексної обробки навігаційних часових рядів реалізована в програмному середовищі системи Mathematica та застосована для всіх ділянок ВВШ. Зміни значень довготи та широти протягом рейсу наведені на рис. 1 згідно [13].

Оцінка  $\lambda$  надана на рис. 2.

Просте відношення трьох послідовних точок вимірювання з кроком  $h = \text{const}$  може визначити зміну знака “-” → “+” або “+” → “-”, якщо в інтервалі  $(i-1)$ ,  $i$ ,  $(i+1)$  відбувається, замість кусково-гладкого процесу, екстремальний пілкоподібний злам.

Символізація проходження екстремальної точки  $i$  у вигляді  $\text{sign} \text{ “-”} \lambda_i$  означає, що попередня різниця  $(x_i - x_{i+1}) > 0$ , й тому відбувається перехід  $i$ -ої точки, яка є мінімальною у порівнянні з сусідніми.

Навпаки, символ  $\text{sign} \text{ “+”} \lambda_i$  означає, що точка  $i$  максимальна у порівнянні з сусідніми (рис. 2).

Такі стрибки знаку  $\lambda_i$  визначають подію на момент зміни проекції швидкості руху судна за даною координатою у обраній системі координат. Дійсно, згідно відношення (15), масмо випадок з причини зміни вектора швидкості руху

$$\lambda_i (\text{sign}) \left[ \frac{x_i - x_{i-1}}{x_{i-1} - x_i} \right] = (\text{sign}) \frac{\overline{V_{i-1}}}{\overline{V_{i+1}}}, \quad \overline{V_{i-1}} \neq \overline{V_{i+1}} \quad (17)$$

Коли така причина реально відсутня (рушійний двигун судна працював у стаціонарному режимі на інтервалі  $3h$  та кермо не змінювало свого положення, й тому не відбувалося зміни курсу), тоді можлива відмова інструменту з причин значних збурень вхідного сигналу, наприклад, нерегламентованим станом електромагнітного довкілля НАС.

У зашумлених часових рядах більш детальну класифікацію можливо отримати при застосуванні складного (чотирьох точкового) відношення:

$$\mu_i = \frac{\Delta_{12} \cdot \Delta_{34}}{\Delta_{24} \cdot \Delta_{13}} \quad (18)$$

Обробка натурних даних GPS спостережень (4-х годин) на базі індикатора складного відношення (18) дозволила отримати символічне чередування стабільних (зашумлених) режимів, між якими відбувались короткочасні (4h) події (рис. 3).

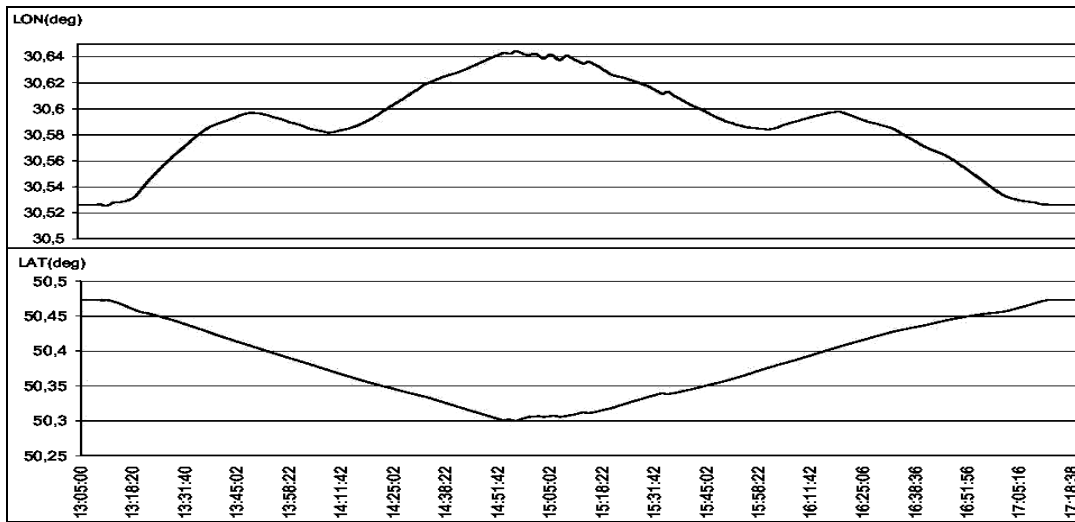


Рис. 1. Експериментальні GPS реєстрограми часових рядів зміни довготи та широти протягом рейсу теплохода «Штурман»

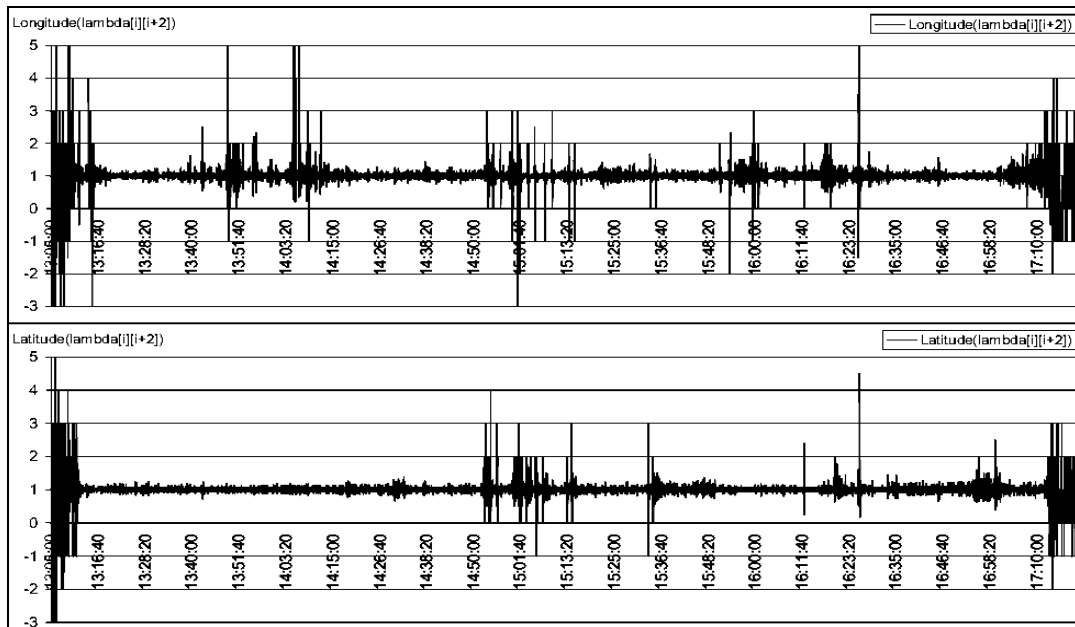


Рис. 2. Реєстрограма застосування індикатора  $\lambda$  згідно рис. 1.

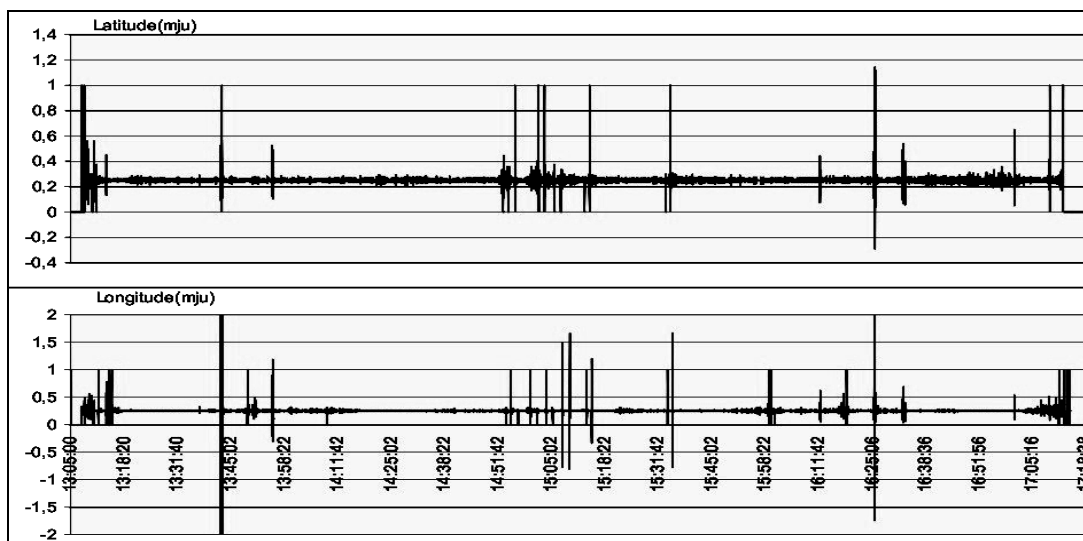


Рис. 3. Реєстрограма застосування індикатора  $\mu$  згідно рис. 1

## Висновки

1. Застосування інваріантних функцій перетворення вхідного потоку навігаційних даних GPS спостереження за динамікою руху транспортних засобів в оточуючому нестационарному середовищі у символічні ознаки – індикатори активності дій щодо прискореного прийняття первинних рішень для попередження небажаного розвитку процесів у бік зіткнень, аварій та катастроф.

2. Формалізована початкова класифікація навігаційних станів та подій під час просторового руху мобільного об'єкта відображає системну рівновагу багатьох дій та протидій у єдиній складній динамічній системі, яка природно розподілена на внутрішню активну підсистему, контактну зону взаємодії та на зовнішню навколишню підсистему зі змінними факторами впливу у розподіленому просторово-часовому континуумі, що параметризовано поточними даними GPS спостережень за мобільними транспортними засобами.

3. Набули подальшого розвитку процедури логіко-алгебраїчних символічних перетворень, які у просторі та часі формалізують інтервали реального руху судна у вигляді послідовностей причинно-наслідкових течій стосовно станів, подій, нових станів у межах ковзного ситуативного вікна спостереження, що на відміну від відомих систем підтримки прийняття рішень на базі чисельних методів моделювання та прогнозування, забезпечують формування лінгвістичних рішень з типових шаблонів та логічно обґрунтованих кванторів для підвищення ефективності своєчасних законів управління рухом суден з метою запобігання влучення у небезпечну зону з високими рівнями ризику аварійних подій.

4. Практичне значення отриманих результатів полягає в підвищенні ефективності запропонованих засобів математичного та інформаційного забезпечення СНУР суден за рахунок послідовного використання символічних логіко-аналітичних залежностей замість традиційно існуючого значного витрачання обчислювальних ресурсів на чисельне інтегрування суто нелінійних складних моделей значної розмірності, що в цілому дозволяє реалізовувати гарантовано адаптивне управління з контурами координації взаємодії інтелектуальних агентів розподіленої системи, які забезпечують високий рівень функціональної стійкості в складних умовах при високій ймовірності розвитку ситуації до аварії.

## Список літератури

1. Кудряшов В.Е. Синтез алгоритмов безаварійного управління судном при расхождении с несколькими

объектами / В.Е. Кудряшов // Судостроение. – 1978. – № 5. – С. 24-27.

2. Дмитриев С.П. Задачи навигации и управления при стабилизации судна на траектории / С.П. Дмитриев, А.Е. Пелевин – СПб.: ГНЦ РФ-ЦНИИ «Электронприбор», 2002. – 180 с.

3. Миусов М.В. Проблемы обеспечения безопасности судоходства Черного и Азовского морей / М.В. Миусов, В.Г. Торский // Материалы научно-методической конференции «Современные проблемы повышения безопасности судоходства», «Издательство Информ», ОНМА, Одесса, 2009. – С. 76-80.

4. Даламбер Ж. Динамика / Ж. Даламбер. – М.-Л.: Госиздат, 1950. – 262 с.

5. Ж. Аналитическая механика / Ж. Лагранж. Изд. 2-е. – М.-Л. 1950. Т. 1. – 260 с.

6. Эйлер Л. Метод нахождения кривых линий, обладающих свойством максимума либо минимума, и решение изопериметрической задачи. – М.: Гостехиздат, 1934. – 144 с.

7. Павловський М.А. Теоретична механіка / М.А. Павловський. – К.: Техніка, 2002. – 512 с.

8. 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. – К.: ЦНДІ НіУ. 2009. – Вип. 2(10). – С. 17-21.

9. 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.: ЦНДІ НіУ. – 2011. – Вип. 1(17). – С. 2-9.

10. Баранов Г.Л. Активне визначення безпечно-гарантованої траєкторії шляхом структурного моделювання диференціально-ігрових задач в системах навігації і управління рухом об'єктів водного транспорту / Г.Л. Баранов, В.І. Тарасюк, С.М. Васько // Системи управління, навігації і зв'язку. – К.: ЦНДІ НіУ. – 2011. – Вип. 2(18). – С. 2-7.

11. Гофман-Велленгоф Б. Глобальна система визначення місцеположення (GPS). Теорія і практика: пер. с англ. / Б. Гофман-Велленгоф, Г. Ліхтенгер, Д. Коллінз: пер. с англ. під ред. Я.С. Яцківа – К.: Наукова думка, 1995. – 380 с.

12. Жалило А.А. «ОCTAVA» многофункциональный программный инструментальный обработки и анализа GPS/GNSS наблюдений / А.А. Жалило, Д.А. Шелковенков // Интегрированные навигационные системы. Труды XIV междунар. конф., май, 2007, Россия. – СПб, 2007. – С. 319-321.

13. Горбань І.І. Теорія ймовірностей і математична статистика для науковців та інженерів / І.І. Горбань. – К.: НАНУ, ІПММС, 2003. – 244 с.

14. Носовський А.М. Аналітичний опис траєкторій ділянок руху об'єктів водного транспорту за результатами реєстрації прийомоіндикаторами глобальних навігаційних супутникових систем / А.М. Носовський, Г.Л. Баранов, К.В. Киркач, С.М. Васько // Системи управління навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ НіУ. – 2011. – Вип. 3(19). – С. 2-7.

Надійшла до редколегії 12.09.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## ИНВАРИАНТНЫЕ ФУНКЦИИ ОПИСАНИЯ НАВИГАЦИОННЫХ СОСТОЯНИЙ ДВИЖЕНИЯ СУДНА

А.Н. Носовский

Разработаны инвариантные функции преобразования дискретизированных временных рядов данных GPS наблюдения за движением судна в формализованные символные признаки классификации текущих навигационных состояний

и событий в сложной динамической системе. Методика апробированна на натурных данных во время движения и маневрирования судна. Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности предложенных индикаторных функций.

**Ключевые слова:** навігація, управління, динаміка руху, безпека, стан, події, символічні перетворення.

## INVARIANT FUNCTIONS DESCRIBING THE NAVIGATION CONDITIONS OF THE VESSEL

A.M. Nosovskii

*Invariant transformation function of sequenced and discrete time series GPS traffic monitoring ship in the formal classification of symbolic attributes of current navigation states and events in a complex dynamic system of field data on the move with changes in modes of maneuvering was developed. Classification results obtained indicate a high efficiency of the proposed detector functions.*

**Keywords:** navigation, control, dynamics of movement, safety, conditions, events, symbolic transformation.