

УДК 656.61.052:53(023)

DOI: 10.31653/2306-5761.31.2021.60-68

ITERATIVE METHOD OF VESSEL STABILIZATION ON COURSE AND ROUTE

ІТЕРАЦІЙНИЙ МЕТОД СТАБІЛІЗАЦІЇ СУДНА НА КУРСІ ТА МАРШРУТІ

K.O. Siniuta, *assistant, PhD student*

К.О. Сінюта, *асистент, аспірант*

National university "Odessa Maritime Academy", Ukraine

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

ABSTRACT

Calculating the vessel's path is one of the most important conditions in ensuring the safety of navigation. The calculation of the vessel's path is a plan (program) of its movement to calculate the current coordinates. There are two ways to calculate the ship's path: graphical and analytical. Graphical calculus is the maintenance of a sequential pad from a known starting point of a swimming vector. It is performed in the form of graphical constructions on nautical charts using only a meter, ruler and protractor. In turn, analytical calculus allows by mathematical calculation of the elements of the ship's motion and the coordinates of the starting point to calculate the coordinates at a given time. The traditional scheme of calculation assumes the account of a drift and a current. The account of constant and tidal currents does not cause, as a rule, big difficulties. Traditionally, the angle and magnitude of the drift vector by the inverse method are taken into account, it does not provide for the accounting of vessel wear at the initial section of the route. The position of the vessel must be monitored continuously while the vessel is sailing. Observation is performed for this purpose. The frequency of observation is characterized by the allowable time of sailing on the account, which is the longest period of time at which the continuously increasing error of the vessel's position does not exceed the set value.

It is indicated that the relevance of the work lies in the study of road losses when the vessel moves along the coordinate points of the corresponding line of the given course.

An algorithm is proposed for taking into account the flow vectors and wind-wave disturbances at the initial point of the ship's path, assuming the module of the ship's relative speed to be constant. The paper presents a model for determining the elements of a ship's motion in the form of an algorithm representing a sequence of assignment operators, and operators of input, printing and output, which make up a block diagram of its software implementation.

The article also provides an algorithm for calculating the modules and internal angles of a vector triangle formed as a result of observation. The last step was considered the return to the line of the ship's track for the next period of time equal to one hour. In this case, the module of the ship's speed, the module and the direction of the vector of the total disturbance are preserved, and the ground speed of the ship is variable.

Keywords: ship, vector, speed, speed triangle, disturbance.

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

У попередньому дослідженні [1] була вирішена задача визначення ефективності ризику судна, в зв'язку з нею була вирішена задача оптимізації визначення елементів руху судна у вигляді матеріальної точки при мінімумі інтенсивних параметрів руху судна мінімаксимним методом, що полягає в отриманні максимуму екстенсивних параметрів.

Наступний етап полягає в здійсненні обсервації, визначенні швидкості обсервації і намітити стратегію переходу від обсервованої точки до наступної зчислимої найбільш точно з використанням обсервованих елементів руху (обсервована швидкість збурення, заданого курсу і швидкості судна), що вимагає зміни істинного курсу судна на раніше заданому інтервалі часу, визначити курс ризику і зчислену швидкість шляху судна. В роботі [3] було зроблено наступний крок у визначенні елементів векторів шляхового і швидкісного трикутника, а також кут і коефіцієнт ризику координатним методом, що дозволяє вирішувати більш складні завдання графоаналітичного і мехатронного зчислення і обсервації поступально-обертального руху судна по маршруту. Наступний крок полягає у визначенні швидкості обсервованого збурення і алгоритму визначення елементів швидкісного трикутника при переході до наступної зчислимої точки, а також стоїть проблема здійснення подальших зчислень до пункту підходу до точки призначення. Проблема руху судна по координатним точкам відповідної лінії заданого курсу пов'язана зі швидкісними втратами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

У статті [2] здійснено порівняльний аналіз показників процесу ризику на тихій воді і хвилювання, таких як кут ризику, кількісне визначення ефективності шляху судна ($\eta_{\alpha(p)}$) при ризику, втрата швидкості судна, ефективність шляху. На основі теоретичних розрахунків і виробничого експерименту. коефіцієнтах ефективності шляху судна в процесі полуперіода ризику судна визначається як відношення довжини хорди до довжини охоплюючої її дуги. Довжина хорди визначається твором швидкості судна на величину напівперіоду, а довжина дуги - наближеною формулою Гюйгенса. Величина коефіцієнта ефективності шляху судна при ризику визначається наступною залежністю:

$$\eta_{\alpha(p)} = 3 \cdot \frac{\cos \alpha}{4 - \cos \alpha} \quad (1)$$

У статті [3] розроблено алгоритм визначення прогнозних параметрів при мінімумі апріорної інформації (мінімаксий метод) на початку руху судна, де фігурують три вектори швидкості: збурення (\overline{V}_3), відносної (\overline{V}_C) та абсолютної (\overline{V}_{III}) швидкостей. Подальше виконання обсервації і визначення обсервованого кута і швидкості виконані в роботі Голікова В.В. [1].

В роботі Ю.П. Кондратенко [6] виконано аналіз можливостей застосування інтелектуальних інформаційних технологій і врахування особливостей структурної побудови систем прийняття рішень на нечіткої логіки для підвищення ефективності функціонування морських систем різного типу в умовах невизначеності.

В роботі А.С. Мальцева [7] розроблена методика планування траєкторії руху інверсним способом шляхом вирішення диференціальних рівнянь в негативному часі.

В роботі Е.О. Орлова [8] розроблена методика визначення величини неузгодженості між моментом формування позначки курсу і моментом проходження максимуму діаграми спрямованості антени через діаметральну площину судна для подальшої юстування антени, що дозволяє підвищити точність вимірювання радіолокаційних пеленгів і достовірність одержуваної судноводієм інформації.

В роботі О.Ф. Кривого [9] запропонований підхід, який дозволяє отримати нові математичні моделі похідних поздовжніх гідродинамічних сил високою ступеню кореляції, а також можуть бути отримані моделі для поперечних гідродинамічних сил і моменту.

В роботі В.А. Голікова [10] розглянуто задачу синтезу оптимального регулятора з застосуванням комплексного методу Боксу, який є модифікацією симплексного методу

Недлера-Міда. Перевірка збіжності здійснюється за двома величинами: середньому квадратичному відношенню до максимальної відстані між двома точками комплексу, що дозволяє здійснити управління з будь-якого комплексу параметрів мікроклімату, які формують показник комфортності.

В роботі [9] представлений метод управління прогнозами системи POSEIDON для морів Греції і побудови оптимальних маршрутів для малих і середніх судів. Метод складається з геометричного розрахунку всіх можливих маршрутів між двома точками і з ітераційного алгоритму, який визначає оптимальний (або майже оптимальний) маршрут.

В результаті аналізу публікацій, була виявлена необхідність вирішення задачі безпеки судноводіння за допомогою методу мінімально неминучої похибки вимірювання, розрахунків і логічних побудов.

Формування мети роботи та постановка завдань дослідження

Мета дослідження полягає у розробці ефективного алгоритму стабілізації судна на курсі, забезпечити координатним методом при послідовному обчисленні і обсервації руху судна.

Об'єктом дослідження став процес руху судна, а предметом — елементи (параметри) руху.

Актуальність роботи полягає у дослідженні шляхових втрат при русі судна по координатним точкам відповідної лінії заданого курсу.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Графоаналітичний спосіб зчислення передбачає складання векторів швидкостей в послідовності зображеної на рис 1., згідно з яким судно, рухаючись по спокійній воді з $\overline{V}_C = const$ на проміжку $\Delta t = 1$ год., знаходиться під впливом вектору збурення, яке являє собою суму векторів течії (\overline{V}_T) і вітро-хвильового впливу (\overline{V}_{B-XB}), що діє за результуючим напрямком K_3 . Сумарним вектором переміщення є вектор шляху, який діє у напрямку K_{III} . Як добре проілюстровано на малюнку, судно рухається з уповільненням при носових курсових кутах сумарного вектору збурення, в той час як при кормових курсових кутах судно рухається з прискоренням.

Рішення головного завдання передбачає застосування координатного метода, в якому ведучу роль грають обчислення, а геометричні побудови мають допоміжне значення.

Виходячи з принципів, законів, аксіом та правил аналітичної геометрії знаходимо модуль швидкості вектору вітро-хвильового впливу [9]:

$$\Delta V_o = 0,01 \cdot V_C [m' / L(\Delta_w / 10 - \Delta_w)] \quad (2)$$

$$m' = \begin{cases} 900 \text{ при } 0^\circ \leq q_w < \pm 30^\circ, \\ 42(27.1 - \Delta_w) \text{ при } \pm 30^\circ \leq q_w < \pm 60^\circ, \\ 34(15.5 - \Delta_w) \text{ при } \pm 60^\circ \leq q_w < \pm 120^\circ, \\ 29,2(\Delta_w - 1.57) \text{ при } \pm 120^\circ \leq q_w < \pm 180^\circ. \end{cases} \quad n = \begin{cases} 4,7(\Delta_w - 4,6) \text{ при } 0^\circ \leq q_w < \pm 30^\circ, \\ 3,2(\Delta_w - 4,37) \text{ при } \pm 30^\circ \leq q_w < \pm 60^\circ, \\ 2(\Delta_w - 4,5) \text{ при } \pm 60^\circ \leq q_w < \pm 120^\circ, \\ (\Delta_w - 5) \text{ при } \pm 120^\circ \leq q_w < \pm 180^\circ. \end{cases}$$

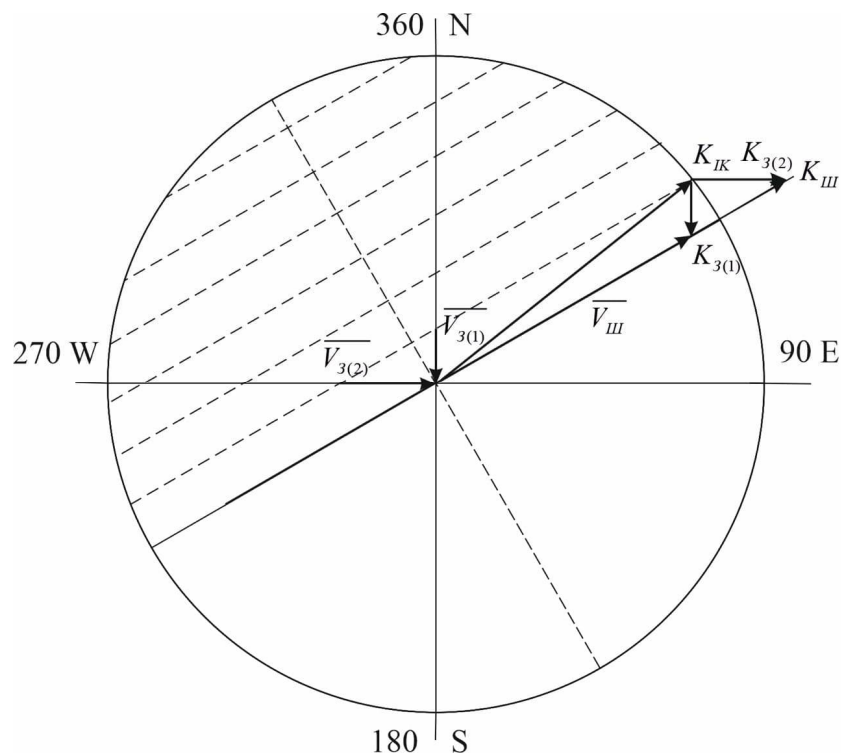


Рис 1. Графічне зображення швидкісного трикутника руху судна

$$|V_{B-XB}| = \begin{cases} (0.01 \cdot V_C [m' / L (\Delta_W / 10 - \Delta_W) + n]) / \cos(180 - q_w) & \text{при } q_w > 90 \\ (0.01 \cdot V_C [m' / L (\Delta_W / 10 - \Delta_W) + n]) / \cos q_w & \text{при } q_w < 90. \end{cases} \quad (3)$$

де Δ_W – інтенсивність хвилювання, q_w – курсовий кут хвилювання, L – довжина судна, м.

Сумарний вектор збурення:

$$\begin{cases} x_T = V_T \cdot \sin K_T, \\ y_T = V_T \cdot \cos K_T; \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} x_{B-XB} = V_{B-XB} \cdot \sin K_{B-XB}, \\ y_{B-XB} = V_{B-XB} \cdot \cos K_{B-XB}; \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} x_3 = x_T + x_{B-XB}, \\ y_3 = y_T + y_{B-XB}; \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} V_3 = \sqrt{x_3^2 + y_3^2}, \\ K_3 = \text{arctg}(x_3 / y_3). \end{cases} \quad (7)$$

Курсовий кут збурення:

$$\text{якщо } -180 \leq K_3 - K_{ш} \leq 180, \text{ то } q_3 = K_3 - K_{ш} \quad (8)$$

$$\text{якщо } K_3 - K_{ш} < -180, \text{ то } q_3 = (360 + K_3) - K_{ш}$$

$$\text{якщо } K_3 - K_{ш} > 180, \text{ то } q_3 = K_3 - (360 + K_{ш})$$

Допоміжні кути швидкісного трикутника

$$\begin{cases} \alpha = \arcsin(V_3 \sin \beta / V_C), \\ \beta = 180 - |q_3|, \\ \gamma = 180 - \alpha - \beta. \end{cases} \quad (9)$$

Істинний курс судна:

$$K_{IK} = K_{Ш} \pm \alpha \tag{10}$$

Модуль вектору шляхової швидкості судна визначається за теоремою синусів для трикутника:

$$V_{Ш} = V_C \cdot \sin \gamma / \sin \beta \tag{11}$$

Координати вершин трикутника:

вектору $\overline{V_C}$:

$$\begin{cases} \varphi_{V_C(2)} = \varphi_{V_C(1)} + (|\overline{V_C}| / 60) \text{ctg} K_{IK}, \\ \lambda_{V_C(2)} = \lambda_{V_C(1)} + (|\overline{V_C}| / 60) \text{tg} K_{IK}; \end{cases} \tag{12}$$

вектору $\overline{V_{Ш}}$:

$$\begin{cases} \varphi_{V_{Ш}(2)} = \varphi_{V_{Ш}(1)} + (|\overline{V_{Ш}}| / 60) \text{ctg} K_{Ш}, \\ \lambda_{V_{Ш}(2)} = \lambda_{V_{Ш}(1)} + (|\overline{V_{Ш}}| / 60) \text{tg} K_{Ш}; \end{cases} \tag{13}$$

вектору $\overline{V_3}$:

$$\begin{cases} \varphi_{V_3(1)} = \varphi_{V_C(2)}, \lambda_{V_3(1)} = \lambda_{V_C(2)}, \\ \lambda_{V_3(2)} = \lambda_{V_{Ш}(2)}, \lambda_{V_3(2)} = \lambda_{V_{Ш}(2)}. \end{cases} \tag{14}$$

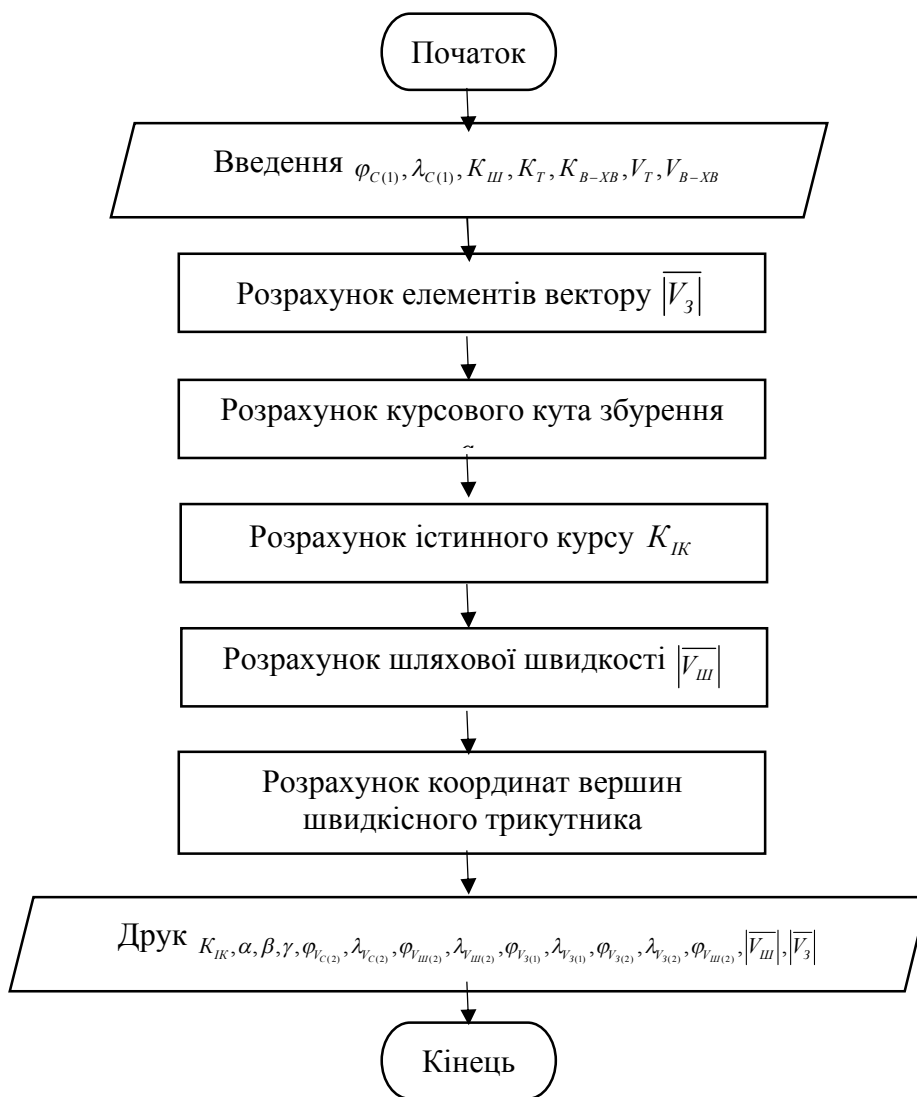


Рис. 2 Блок - схема алгоритму

Координати точки $O(\varphi_O, \lambda_O)$ отримуються за результатами обсервації.

Модулі сторін трикутника, отриманого у результаті обсервації:

$$|\overline{V_{ш(O)}}| = 60\sqrt{(\varphi_O - \varphi_{ш(1)})^2 + (\lambda_O - \lambda_{ш(1)})^2}, \quad (15)$$

$$|\overline{V_{3(O)}}| = 60\sqrt{(\varphi_O - \varphi_{C(2)})^2 + (\lambda_O - \lambda_{C(2)})^2}. \quad (16)$$

Внутрішні кути трикутника, отриманого у результаті обсервації:

$$\alpha_O = \arccos\left(\left(\left|\overline{V_C}\right|^2 + \left|\overline{V_{ш(O)}}\right|^2 - \left|\overline{V_{3(O)}}\right|^2\right) / 2\left|\overline{V_C}\right|\left|\overline{V_{ш(O)}}\right|\right), \quad (17)$$

$$\beta_O = \arccos\left(\left(\left|\overline{V_C}\right|^2 + \left|\overline{V_{3(O)}}\right|^2 - \left|\overline{V_{ш(O)}}\right|^2\right) / 2\left|\overline{V_C}\right|\left|\overline{V_{3(O)}}\right|\right), \quad (18)$$

$$\gamma_O = \arccos\left(\left(\left|\overline{V_{ш(O)}}\right|^2 + \left|\overline{V_{3(O)}}\right|^2 - \left|\overline{V_C}\right|^2\right) / 2\left|\overline{V_{ш(O)}}\right|\left|\overline{V_{3(O)}}\right|\right). \quad (19)$$

Наступним кроком є розрахунок повернення на лінію шляху з урахуванням модулю та напрямку збурення, отриманого у результаті обсервації.

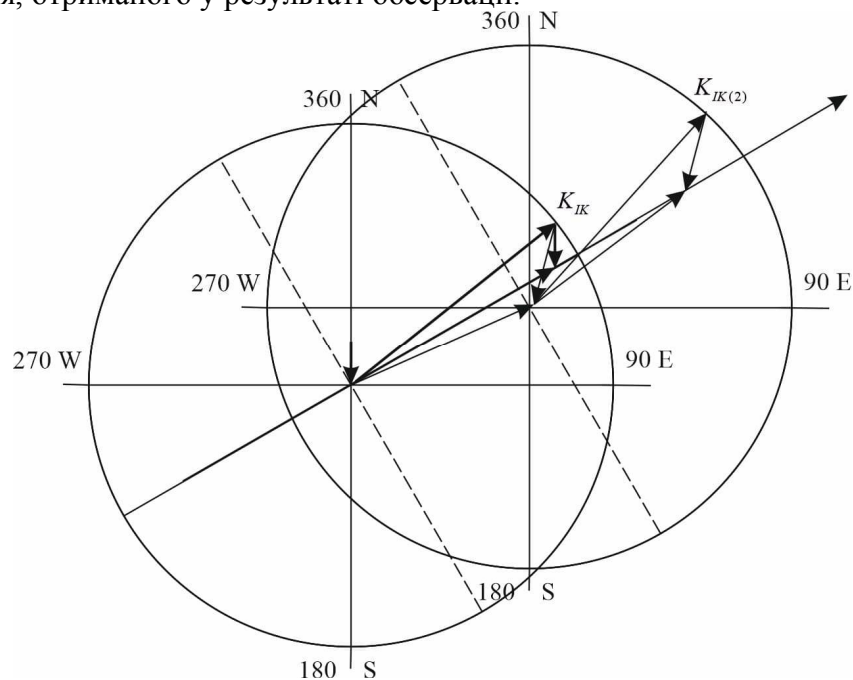


Рис 3. Графічне зображення повернення судна на лінію шляху за наступний проміжок часу

Введемо позначення

координати т. А $(x_A, y_A) = V_{C(1)}(\varphi_{V_{C(1)}}, \lambda_{V_{C(1)}})$;

координати т. В $(x_B, y_B) = V_{C(2)}(\varphi_{V_{C(2)}}, \lambda_{V_{C(2)}})$;

координати т. С $(x_C, y_C) = V_{ш}(\varphi_{V_{ш}}, \lambda_{V_{ш}})$;

координати т. D $(x_D, y_D) = V_{ш(O)}(\varphi_{V_{ш(O)}}, \lambda_{V_{ш(O)}})$;

координати т. E $(x_E, y_E) = V_{C(II)}(\varphi_{C(II)}, \lambda_{C(II)})$;

координати т. F(x_F, y_F) = $V_{Ш(II)}(\varphi_{V_{Ш(II)}}, \lambda_{V_{Ш(II)}})$.

AB=a, BC=b, CA=c, BD=d, DA=r.

$V_{C(1)}, V_{C(2)} = |\overline{V_C}|$, $V_{C(2)}, V_{Ш} = |\overline{V_3}|$, $V_{C(2)}, V_{Ш(O)} = |\overline{V_{3(O)}}|$, $V_{Ш(O)}, V_{C(1)} = |\overline{V_{Ш(O)}}|$

Оскільки $BD=EF$ та $BD \parallel EF$, то чотирикутник $DBEF$ – паралелограм і $BE=DF$ та $BE \parallel DF$.

Складемо систему рівнянь для визначення координат т.Е (позначимо їх через x_E, y_E) як точку перетину прямої BE та кола з центром в т. D та радіусом a. Врахуємо, що при паралельному перенесенні зберігається кут

$$\begin{cases} y_E - y_B = k(x_E - x_B), \\ (x_E - x_D)^2 + (y_E - y_D)^2 = \end{cases} \quad (20)$$

Розв'язуючи систему рівнянь, отримаємо:

$$x_E = \frac{1}{(1+k^2)} \left(ky_D + x_D + k^2 x_B - ky_B + \sqrt{-k^2 x_B^2 + 2kx_B y_B - y_B^2 - k^2 x_D^2 + 2k^2 x_B x_D - 2kx_D y_B + a^2 + k^2 a^2 - y_D^2 + 2kx_D y_D + 2y_B y_D - 2kx_B y_D} \right) \quad (21)$$

$$y_E = y_B + \frac{k}{(1+k^2)} \left(ky_D + x_D + k^2 x_B - ky_B + \sqrt{-k^2 x_B^2 + 2kx_B y_B - y_B^2 - k^2 x_D^2 + 2k^2 x_B x_D - 2kx_D y_B + a^2 + k^2 a^2 - y_D^2 + 2kx_D y_D + 2y_B y_D - 2kx_B y_D} \right) \quad (22)$$

Визначимо кутовий коефіцієнт прямої BD.

$$\frac{x - x_B}{x_D - x_B} = \frac{y - y_B}{y_D - y_B}, \quad (23)$$

$$y = \frac{y_D - y_B}{x_D - x_B} x + \frac{x_D y_B - x_B y_D}{x_D - x_B}. \quad (24)$$

Отже, кутовий коефіцієнт даної прямої

$$k_{BD} = \frac{y_D - y_B}{x_D - x_B} \quad (25)$$

Враховуючі, що прямі BD та EF паралельні, запишемо рівняння прямої EF:

$$y - y_E = \frac{y_D - y_B}{x_D - x_B} (x - x_E) \quad (26)$$

Визначимо координати т. F, яка розташована від т. E на відстані $BD=d$ на прямій EF:

$$\begin{aligned} x_F &= \frac{1}{1+k_{BD}^2} \left(k_{BD}^2 x_E + x_E - \sqrt{d + k_{BD}^2 d} \right) = \\ &= \frac{1}{1 + \left(\frac{y_D - y_B}{x_D - x_B} \right)^2} \left(\left(\frac{y_D - y_B}{x_D - x_B} \right)^2 x_E + x_E - \sqrt{d + \left(\frac{y_D - y_B}{x_D - x_B} \right)^2 d} \right) \end{aligned} \quad (27)$$

$$y_F = \frac{y_D - y_B}{x_D - x_B} \left(\frac{1}{1 + \left(\frac{y_D - y_B}{x_D - x_B} \right)^2} \left(\left(\frac{y_D - y_B}{x_D - x_B} \right)^2 x_E + x_E - \sqrt{d + \left(\frac{y_D - y_B}{x_D - x_B} \right)^2 d} \right) - x_E \right) + y_E \quad (28)$$

Знаючи координати точок E, F, D, знаходимо довжини сторін

$$|EF| = \sqrt{(x_E - x_F)^2 + (y_E - y_F)^2}, \quad (29)$$

$$|ED| = \sqrt{(x_E - x_D)^2 + (y_E - y_D)^2}, \quad (30)$$

$$|FD| = \sqrt{(x_F - x_D)^2 + (y_F - y_D)^2}. \quad (31)$$

Визначимо кути

$$\cos \angle EDF = \frac{(\overrightarrow{DE}, \overrightarrow{DF})}{|DE| \cdot |DF|} = \frac{(x_E - x_D)(x_F - x_D) + (y_E - y_D)(y_F - y_D)}{\sqrt{(x_E - x_D)^2 + (y_E - y_D)^2} \cdot \sqrt{(x_F - x_D)^2 + (y_F - y_D)^2}}, \quad (32)$$

$$\cos \angle DEF = \frac{(\overrightarrow{ED}, \overrightarrow{EF})}{|DE| \cdot |DF|} = \frac{(x_D - x_E)(x_F - x_E) + (y_D - y_E)(y_F - y_E)}{\sqrt{(x_E - x_D)^2 + (y_F - y_D)^2} \cdot \sqrt{(x_E - x_D)^2 + (y_F - y_D)^2}}, \quad (33)$$

$$\cos \angle EFD = \frac{(\overrightarrow{FD}, \overrightarrow{FE})}{|FD| \cdot |FE|} = \frac{(x_D - x_F)(x_E - x_F) + (y_D - y_F)(y_E - y_F)}{\sqrt{(x_D - x_F)^2 + (y_D - y_F)^2} \cdot \sqrt{(x_E - x_F)^2 + (y_E - y_F)^2}}. \quad (34)$$

Визначимо істинний курс судна на 2-й відрізок часу

$$K_{IK(2)} = \arccos \left(\frac{y_E - y_D}{\sqrt{(x_E - x_D)^2 + (y_E - y_D)^2}} \right) \quad (35)$$

Аналіз отриманих результатів дослідження

Головною перевагою координатного методу є рішення завдань визначення параметрів векторів методами аналітичної геометрії більш точними, апробованими і простими у зрівнянні з емпіричними залежностями, а також геометричними побудовами.

Наведена модель визначення елементів руху судна у вигляді алгоритму представляє послідовність операторів присвоювання, які відповідно формулам (1-14) та операторів вводу, друку та виходу, складають блок-схему його програмної реалізації, що представлена на рис. 2. Наступним результатом дослідження є алгоритм визначення швидкості обсервованого збурення і алгоритму визначення елементів швидкісного трикутника при переході до 71ступної зчислимої точки, а також стоїть здійснення подальших зчислень до пункту підходу до точки призначення.

Висновки та перспективи подальшої роботи по даному напрямку

Визначені координатним методом елементи векторів розрахункового та фактичного шляхового та швидкісного трикутників дозволяють вирішувати більш складні завдання графоаналітичного і мехатронного зчислення та обсервації поступально-обертового руху судна по маршруту, але й удосконалювати управління по зниженню ризику на курсі при дії збурень у «великому» за реальним часом, зі змінним інтервалом обсервацій, наближаючись до інваріантного та робастного управління.

ЛІТЕРАТУРА

1. Голиков В.В. Координатний метод визначення коефіцієнту ефективності ризику судна/ В.В. Голиков, К.О. Сінюта / Матеріали науково-технічної конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація» 12.11.2020-13.11.2020 – Одеса: НУ «ОМА». – 2020. – С.63.
2. Голиков В.В. Расчетная схема определения эффективности движения судна по заданной траектории при ветроволновых нагрузках / В.В. Голиков, А.А. Светлаков // Судовождение: сб. научн. тр. – 2010. – Вып.19. – Одесса: ОН- МА. – С.55 – 59.
3. Сінюта К.О. Координатний метод визначення шляхової швидкості судна по векторам та переміщенням відносної та переносної швидкостей [текст] / К.О. Сінюта // Судноводіння: Зб. наук. праць / НУ «ОМА» – Вип. 30. – Одеса: «ВидавІнформ», 2020. – С.117-124.
4. Кондратенко Ю.П. Алгометрическое обеспечение интеллектуальных систем для принятия решений в морской практике [текст] / Ю.П. Кондратенко, Г.В. Кондратенко, Д.А. Романов, И.В. Явишева // Судовождение: сб. научн. тр. – 2007. – Вып.13. – Одесса: ОН- МА. – С.107 – 116.
5. Мальцев А.С. Инверсный метод планирования траектории движения объектов управления [текст] / А.С. Мальцев // Судовождение: сб. научн. тр. – 2007. – Вып.13. – Одесса: ОН- МА. – С.124 – 131.
6. Орлов Е.О. Использование автоматической идентификационной системы для оценки погрешности измерения пеленгов судовыми РЛС [текст] / Е.О. Орлов // Судовождение: сб. научн. тр. – 2007. – Вып.13. – Одесса: ОН- МА. – С.131 – 138.
7. Кривий О.Ф. Нові математичні моделі поздовжніх гідродинамічних сил на корпусі судна [текст] / О.Ф. Кривий, Міусов М.В. // Судноводіння: Зб. наук. праць / НУ «ОМА» – Вип. 30. – Одеса: «ВидавІнформ», 2020. – С.88-99.
8. Голиков В.А. Научные основы управления микроклиматом судна. – Одесса: ОГМА, 1990. – 321 с.
9. Vlachos D.S. Optimal ship routing based on wind and wave forecast // Application Numerical Analysis in Computational Mathematics. 2004. 1, N 2. 547–551.
10. Удосконалення методів вибору економічно вигідних і безпечних морських шляхів [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.16 / Голиков Володимир Володимирович; Одеська національна морська академія. - О., 2007. - 22 с.