

УДК 656.61.052:53(023)

DOI: 10.31653/2306-5761.30.2020.117-123

## COORDINATE METHOD FOR DETERMINING THE GROUND SPEED OF THE VESSEL BY VECTORS AND DISPLACEMENT OF RELATIVE SPEEDS

## КООРДИНАТНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ШЛЯХОВОЇ ШВИДКОСТІ СУДНА ПО ВЕКТОРАМ ТА ПЕРЕМІЩЕННЯМ ВІДНОСНОЇ ТА ПЕРЕНОСНОЇ ШВИДКОСТЕЙ

**К.О. Siniuta, PhD student**

**К.О. Сінюга, аспірант**

*National University "Odessa Maritime Academy", Ukraine*

*Національний університет «Одеська морська академія», Україна*

### ABSTRACT

*During the movement of the vessel along the route there is a problem of observation of natural and man-made obstacles, which is solved by modernizing the management using e-navigation. Intensification of the movement process is provided by increasing the number and frequency of observations according to static criteria. In this case, the methods of graphical and analytical calculation of the path are the basis of navigation, forcing a return to the local criterion, which reflects the full physical nature of the process.*

*The calculation of the vessel's path on the route is carried out according to the rule of the polygon, the sides of which are the vectors of the speed of the path, the vessel and perturbations (wind, waves, current). The main problem is the accuracy of determining the magnitude of the perturbation vector. The inaccuracy of the definition leads to the extension of the vessel's path, which contributes to energy and financial losses for transport support and maintenance of the vessel.*

*The aim of the study is to create a reliable, fast and accurate (innovative) way to determine the characteristics of rectilinear gradual uniform motion of the vessel, which features three speed vectors: perturbation, relative and absolute velocities. The object of study was the process of ship movement, and the subject - the elements (parameters) of movement.*

*The article determines the forecast parameters with a minimum of a priori information at the beginning of the vessel: the sequence of determining the angles of the speed triangle is determined, the sides (modules) of the speed triangle are determined, the order of determining the coordinates of the vertices of the velocity triangle is established. This allows to solve more complex problems of graph-analytical and mechatronic calculus and observation of translational and rotational motion of the vessel along the route and to improve control to reduce risk on the course of disturbances in "big" real time, with variable intervals of observations, approaching invariant and robust control.*

*The advantage of the coordinate method is to solve the problem of determining the parameters of vectors by methods of analytical geometry more accurate, proven and simple in comparison with empirical dependencies, as well as geometric constructions.*

**Keywords:** calculation, ship, vector, speed, movement, perturbation, speed triangle

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

При здійсненні річкових та морських перевезень (вантажів та пасажирів) відбувається неперервний і дискретний контроль місця судна шляхом зчислення.

Зчислення представляє траєкторію руху судна у вигляді геометричного місця точок, в кожному з яких воно послідовно знаходиться.

Складність такого відображення полягає у рухомості водної поверхні та повітряного середовища між собою та відносно Землі. Земне тяжіння здійснює на масу судна гравітаційне, інерційне навантаження, а стан зовнішнього природного середовища — збурюючий неінерційний вплив. Компенсація гравітаційного та інерційного навантаження забезпечується плавучістю та ходкістю судна, а подолання опору від збурень — його здібністю рухатись зі швидкістю за напрямком.

Знаходження координат руху судна відносно води та Землі здійснюється за допомогою шляхових та швидкісних трикутників. Шляхове зчислення передбачає знаходження місця судна, задаючись інтервалом часу від початку руху судна з урахуванням його швидкості на цьому інтервалі з подальшим визначенням відстані від попередньої точки до наступної за умовами рівномірного прямолінійного руху на часових інтервалах.

Швидкісне зчислення передбачає визначення координат точки по її компонентам - приросту ординати та аргументу на площині відносно попередньої зчисленої точки, які формують елементи руху судна: швидкість та шляховий кут.

Проблемність методів та способів зчислення шляху судна знаходить своє відображення у стратегічних планах розвитку е-навігації пов'язаних з інтенсифікацією та модернізацією засобів зовнішнього та внутрішнього управління судном, в яких передбачене застосування ІТ-технологій, зокрема з Європроектom «ГОРИЗОНТ 2020».

При цьому на перший план виходять точність та швидкодія алгоритмів визначення швидкостей плавання та шляхового руху. Хоча правила побудови та одночасного визначення сторін, кутів та координат вершин трикутників відомі, а наявність швидкості як фізичної величини передбачає її векторну форму представлення, проблемними залишаються форма та порядок запису векторів швидкості як функцій модулів, кутів та координат початку та кінця їх дії, методи, способи та алгоритми зчислення яких складають основу сучасних операцій маневрування.

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

В статті А.Ф. Кривого та М.В. Міусова [1] для проектування судових систем автоматичного управління і тренажерів отримана ефективна нелінійна математична модель гідродинамічних сил і моменту пропульсивного комплексу судна при плоскому русі для довільних кутів дрейфу при різних значеннях кутової швидкості. Звертається особлива увага на важливість урахування неінерційних сил на корпусі судна (гідродинамічних сил) для забезпечення адекватності математичних моделей динаміки і статички пропульсивного комплексу судна при вирішенні різних завдань оптимального управління в судноводінні, зокрема: розгону і гальмування, маневрування, кутової стабілізації, позиціонування, розходження та інших.

В статті Г.Л. Баранова та І.В. Тихонова [2] звертається увага на загрозливий вплив нестаціонарного зовнішнього середовища: для безпеки життя членів екіпажів суден та пасажирів; збереження вантажів та навколишнього середовища; економічну та інвестиційну привабливість, які формують технології управління суден, що ситуаційно залежать від людського фактору під час вибору стратегії генерації альтернатив, прийняття рішення та його реалізації. Доведено, що процедури екстрених імпульсних реалізацій антикризових дій гарантують відновлення стану судноводіння в безпечній області навігації.

В статті В.В. Голікова [3] наведені шляхи інтенсифікації системи безпечного управління судном, яка знаходиться під зовнішнім адекватним та неадекватним природнім впливом, використовуючи ситуаційний підхід, універсальність функціонування, схемну простоту та ієрархічність в управлінні для вирішення завдань конструювання та управління графоаналітичними, ймовірнісними, евристичними та сценарними методами та моделями.

В статті А.О. Лисого [4] пропонується при плануванні вантажопотоків використовувати інформацію про характеристики природніх (зовнішніх) умов у вигляді: планів акваторій трасуючого каналу та прилеглий території; літологічних розрізів по

проектованим трасам каналу з характеристиками ґрунтів; елементів метеорологічного режиму (не менше ніж за 12 років), включаючи дані про повторюваність вітрів (по швидкості, напрямку та тривалості); відомостей про характер течії (напрямку та швидкості); хвилеутворення 3% забезпеченості по восьми румбам; графіку забезпеченості щодобових рівней води; середньорічної метеорологічної дальності видимості й переважаючого для даного району коефіцієнта прозорості атмосфери з повторюваністю не менш ніж 65%; тривалості льодового періоду; відомостей про динаміку берега й інтенсивності руху наносів.

Таким чином вже на стадії планування вантажопотоків по каналам, вузкостям та іншим стислим водам передбачаються: врахування векторів швидкостей повітря, течії, хвилювання; зміни рівня води на підконтрольних акваторіях за часом та багато інших зовнішніх природних факторів під час руху судна.

В статті О.Д. Піпченко [5] наведена спрощена математична модель руху судна керованого кермом і гвинтом при використанні ППД регуляторів без оцінки впливу зовнішніх збурень.

В статті В.В. Бондаря [6] запропонований метод оцінки та регулювання безпечної якорної стоянки судна під зовнішнім впливом вітру, хвилюванні і течії при довільному сполученні їх величин (модулів) та напрямків, що вказує на сумарний вплив векторів швидкостей вітру, хвилювання та течії.

В роботі А.С. Мальцева [7] наведений курсовий комбінований спосіб управління судном, при якому курс судна призначається з урахуванням зовнішніх збурень і періодично коригується при визначенні місця судна, змінюючи параметри зовнішнього впливу і розташування пункту призначення.

В статті В.В. Голікова [8] запропонований алгоритм визначення векторів складного руху судна при зчисленні для підвищення інформативності процесу за рахунок детермінізації алгоритмів планування траєкторії переміщення суден, включаючи їх маневрування.

В роботі Р.А. Габрука [9] розглянутий підхід, дозволяючий в зв'язаній системі координат проводити оцінку впливу в локально обмеженому середовищі на різні типи рухомих об'єктів водного транспорту при проведенні технологічних робіт і виконанні військових завдань, що викликають необхідність використання динамічного позиціонування.

В роботі А.А. Деревянко [10] представлено рішення задачі отримання алгоритму дій судноводія з використанням графічно-аналітичної траєкторії руху судна від початкової точки з моменту підходу до точкового причалу до моменту зупинки його в точці знаходження буя швартовної лінії.

У статті [11] представлений простий спосіб визначення параметрів динамічної математичної моделі судна, вибрана модель Номото 2-го порядку, визначені сталі часу рівняння гідропульсивного комплексу. Для ідентифікації параметрів моделі пропонується: використання результатів «звивистих» тестів; обробка результатів тестів за допомогою перетворення Фур'є та перевірка результатів на основі «зворотного» моделювання.

Аналіз літературних джерел [1-11] вказує на існування двох способів визначення вектора шляхової швидкості судна: по випередженню (з початкової точки) та відхиленню (у наступній точці траєкторії) під сумарною дією векторів швидкостей гравітаційного навантаження та природних збурень. При «малих» за модулем швидкостях збурень вдається утримувати судно від ризику на лінії шляху, але при «великих» за модулем збурень воно зноситься в сторону протилежну вектору сумарної швидкості збурень навіть при інваріантному утриманні шляхового кута руху.

### Формування мети роботи та постановка завдань дослідження

Векторна форма передбачає графоаналітичне визначення складових (модулів, кутів та їх вершин) шляхового та швидкісного трикутників зображених на площині у прямокутній та круговій системах координат.

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

Мова йде про кінематичний склад руху при постійних модулях швидкостей, але змінних напрямках та точках прикладення векторів.

Мета дослідження полягає у створенні надійного, швидкого і точного (інноваційного) способу визначення характеристик прямолінійного поступового рівномірного руху судна, де фігурують три вектора швидкості: збурення ( $\overline{V}_H$ ), відносної ( $\overline{V}_C$ ) та абсолютної ( $\overline{V}_M$ ) швидкостей.

Робоча гіпотеза дослідження полягає у забезпеченні паралельності визначення сторін, кутів та вершин відносної та абсолютної складових шляхового вектора швидкості руху судна більш інформативною, швидкодіючою за по-компонентну форму його представлення.

За наявності інформаційних початкових вхідних обмежень треба вирішити головне завдання: охарактеризувати вектори  $\overline{V}_H$ ,  $\overline{V}_C$ ,  $\overline{V}_M$  чотирма параметрами (модулем, напрямком, координатами точок початку та кінця дії кожного вектора). Таким чином, із 18-ти параметрів на початок руху судна відомі лише сім: модуль відносної швидкості судна  $|\overline{V}_C|$ , два кути  $K_H, K_M$  та координати точки початку руху  $\varphi_1, \lambda_1$ , а останні 11 параметрів треба визначити.

Постановка завдання по пошуку інноваційного способу, який полягає у точності визначення елементів швидкостей руху та порядку формування прогнозних швидкісних трикутників при зчисленні шляху, передбачає наступну послідовність визначення параметрів трикутника: спочатку визначаються кути, потім сторони, а в кінці — координати зчислених вершин. При цьому враховуються правила складання (віднімання) кутів у пучку промінів, правила побудови та визначення прямолінійних фігур та окружностей на площині у прямокутній та круговій системах координат. Зчислення графоаналітичним методом має велике практичне значення, але в теорії навігації він відіграє підлеглу роль. Головна увага приділяється вибору послідовності побудови цих простих фігур в широких діапазонах зміни параметрів векторів: модуля швидкості від 0 до 30 м/с; частоти обертання від 0 до  $n\pi$  градусів; просторових координат від 0 до 90 С° (Північної та Південної) широти та від 0 до 180 С° (Західної та Східної) довготи.

Дослідження передбачає розробку алгоритму визначення прогнозних параметрів при мінімумі апріорної інформації на початку руху судна, для чого треба формалізувати наступні завдання:

- встановлення послідовності визначення кутів швидкісного трикутника;
- визначення сторін (модулів) векторів швидкостей;
- встановлення порядку визначення координат вершин швидкісного трикутника.

### Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Графоаналітичний спосіб зчислення передбачає звичайне складання векторів швидкостей у послідовності зображених на рис 1., згідно якому судно, рухаючись по спокійній воді з  $\overline{V}_C = const$  на проміжку  $\Delta t = 1$  год., знаходиться під впливом невизначеного за модулем сумарного збурення, діючого за напрямком  $K_H$ . Сумарним вектором переміщення стає невизначений вектор шляху, який діє у напрямку  $K_M$ .

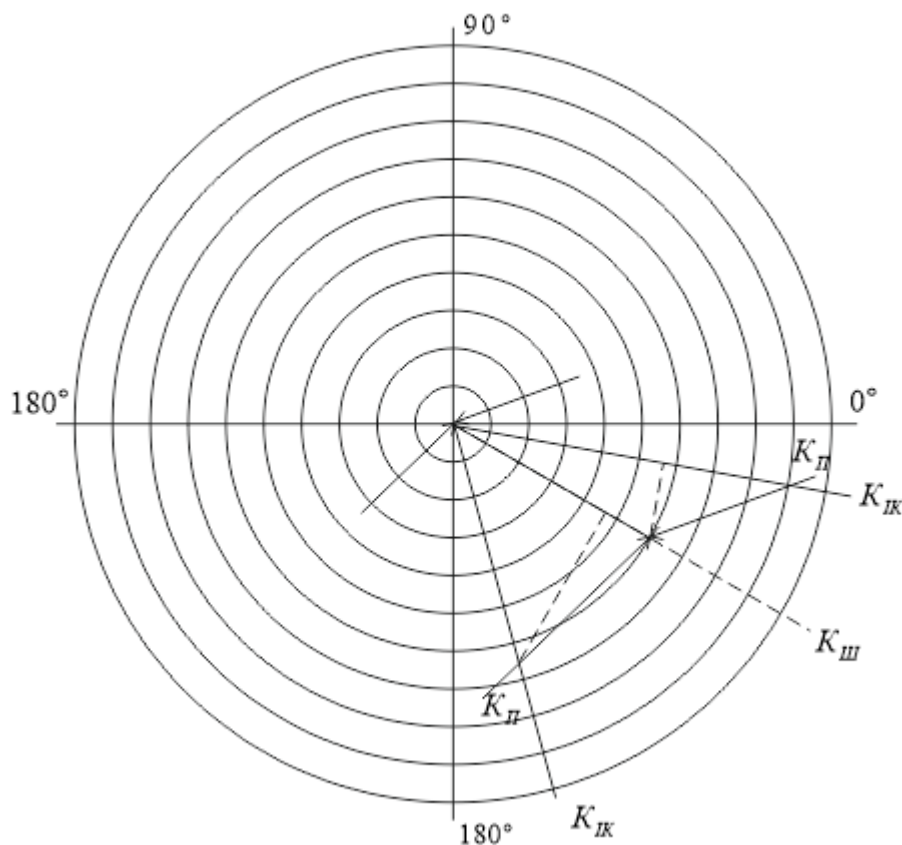


Рис. 1. Графічне зображення швидкісного трикутника руху судна

Для вирішення подібних задач необхідно побудувати таблицю 1 з відомими та невідомими параметрами кожного вектору швидкості.

Таблиця 1. Параметри векторів для визначення вектору шляхової швидкості судна.

№	Назва вектору швидкості	Параметри векторів					
		Модуль, м/с.	Кут, град	Координати векторів			
				початку (1)		кінця (2)	
				$\varphi_1$	$\lambda_1$	$\varphi_2$	$\lambda_2$
1	Рух судна $\overline{V}_C$	+	-	+	+	-	-
2	Природного збурення $\overline{V}_П$	-	+	-	-	-	-
3	Шляхової швидкості $\overline{V}_Ш$	-	+	+	+	-	-

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:

$$— \text{істинний курс судна } K_{ІК} = K_{Ш} - K_{П}. \tag{1}$$

## Допоміжні кути швидкісного трикутника

$$\begin{cases} \alpha = K_{II}, \\ \beta = K_{III} - 2K_{II} = K_{III} - 2\alpha, \\ \gamma = 180 - K_{III} + K_{II} = 180 - K_{III} + \alpha. \end{cases} \quad (2)$$

Модулі векторів визначається за теоремою синусів для трикутника:

$$\frac{|\overline{V}_C|}{\sin \gamma} = \frac{|\overline{V}_{II}|}{\sin \alpha} = \frac{|\overline{V}_{III}|}{\sin \beta}. \quad (3)$$

Координати вершин трикутника:

$$\text{Вектора } \overline{V}_C : \begin{cases} \varphi_{V_C(2)} = \varphi_{V_C(1)} + |\overline{V}_C| \operatorname{ctg} K_{IK}, \\ \lambda_{V_C(2)} = \lambda_{V_C(1)} + |\overline{V}_C| \operatorname{tg} K_{IK}; \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{Вектора } \overline{V}_{III} : \begin{cases} \varphi_{V_{III}(2)} = \varphi_{V_{III}(1)} + |\overline{V}_{III}| \operatorname{ctg} K_{III}, \\ \lambda_{V_{III}(2)} = \lambda_{V_{III}(1)} + |\overline{V}_{III}| \operatorname{tg} K_{III}; \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{Вектора } \overline{V}_{II} : \begin{cases} \varphi_{V_{II}(1)} = \varphi_{V_C(2)}, \lambda_{V_{II}(1)} = \lambda_{V_C(2)}, \\ \lambda_{V_{II}(2)} = \lambda_{V_{III}(2)}, \lambda_{V_{II}(2)} = \lambda_{V_{III}(2)}. \end{cases} \quad (6)$$

## 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, що вимагають значно меншої винахідливості.

Формалізація розрахункової моделі визначення елементів руху судна у вигляді алгоритму представляє послідовність операторів присвоювання, які відповідно формулам (1-6) та операторів вводу, друку та виходу, складають блок-схему його програмної реалізації.

## Висновки та перспективи подальшої роботи по даному напрямку

Визначені координатним методом елементи векторів 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. Кривой А.Ф. Математические модели гидродинамических характеристик пропульсивного комплекса судна для произвольных углов дрейфа [текст] / А.Ф. Кривой, М.В. Миусов // «Судовождение»: Сб. научн. трудов / НУ «ОМА», Вып. 28. — Одесса: «Издат Информ», 2018 — с. 88-102.

2. Баранов Г.Л. Ергатичні іноваційні технології управління рухом суден [текст] / Г.Л. Баранов, І.В. Тихонов // «Судноводіння»: Зб. наук. праць / НУ «ОМА», Вип. 26. — Одеса: «Видав Інформ», 2016 — с. 10-19.
3. Голиков В.В. Ситуаційний підхід к безпасному управленію судном [текст] / В.В. Голиков // «Судовождение»: Сб. научн. трудов / НУ «ОМА», Вип. 26. — Одесса: «Издат Информ», 2016 — с. 191-198.
4. Лысый А.А. Влияние факторов внешней среды на тип и главные размерения судов каравана при ледовых проверках в Азовском море [текст] / А.А. Лысый // «Судовождение»: Сб. научн. трудов / ОНМА, Вип. 25. — Одесса: «Издат Информ», 2015 — с. 121-128.
5. Пипченко А.Д. Создание упрощенной математической модели судна, управляемого рулем и винтом [текст] / А.Д. Пипченко // «Судовождение»: Сб. научн. трудов / ОНМА, Вип. 9. — Одесса: Феникс, 2005 — с. 75-81.
6. Бондарь В.В. Метод оценки и регулирования безопасности якорной стоянки судна при действии ветра, волнения и течения [текст] / В.В. Бондарь // «Судовождение»: Сб. научн. трудов / ОНМА, Вип. 15. — Одесса: «Издат Информ», 2008 — с. 11-19.
7. Мальцев А.С. Методологические основы маневрирования судов при сближении // А.С. Мальцев, В.В. Голиков, И.В. Сафин и др. — Одесса: ОНМА, 2013. — 218 с.
8. Голиков В.В. Анализ вектора смещения пути судна от ветра [текст] / В.В. Голиков, С.Э. Мальцев / Научный журнал — Херсон: ХГМА, 2015 №1(12), — с. 29-35.
9. Габрук Р.А. Врахування впливу течії на об'єкт управління системою динамічного позиціонування / Р. А. Габрук // Матеріали конференції «Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні» 19-20 листопада 2015 року – с. 14-16.
10. Деревянко А.А. Инверсный метод планирования схемы маневрирования при швартовке VLCC к монобую / А. А. Деревянко // Матеріали конференції «Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні» 19-20 листопада 2015 року – с. 126-129.
11. Golikov V.A. A simple technique for identifying vessel model parameters / V.A. Golikov, V.V. Golikov, Ya. Volyanskaya, O. Mazur, O. Onishchenko // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 4th International Scientific Conference SEA-CONF 2018, Published by IOP Publishing Ltd, 2018. – Vol. 172. – № 012010. – P. 1-8. – Doi:10.1088/1755- 1315/172/1/012010.