

ЦИФРОВІЗАЦІЯ ОСВІТИ. АЛГОРИТМИ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ПРОФЕСІЙНО СПРЯМОВАНИХ ЗАДАЧ МОРСЬКОГО ПРОФІЛЮ

Зайцева Т. В., Камінська Н. Г.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Одним з основних завдань судноводія є визначення місця знаходження судна. Будь-які природні чи екстремальні обставини можуть змінити курс судна, а кібератака на суднову систему керування – позбавити можливості покладатися на показники приборів. Але судноводій повинен вміти прийняти правильне управлінське рішення та швидко визначитись за всіма необхідними параметрами.

Сьогодні оснащення будь-якого судна сучасним обладнанням, яке максимально автоматизує всі дії, дозволяє це робити швидко та якісно. Але в реальному житті може трапитися будь-яка подія, коли від швидкості прийняття рішення залежить існування як самого судна, так і його екіпажу. Так, досвідчений судноводій має вміти самостійно проводити обсервування місця судна, встановити величину відхилення обчислюваного місця судна від істинного, та нарешті з'ясувати причини цього відхилення і врахувати їх.

Моніторинг останніх досліджень і публікацій, які стосуються зазначеної тематики, вказує на те, що безпека судноплавства в значній мірі залежить, по-перше, від оснащення судна, та, по-друге, від кваліфікації його офіцерського складу. Так, у своїй роботі «Система дипломування судноводіїв» Кочерев О. С. [1] відзначив необхідність вдосконалення системи підготовки моряків, акцентувавши увагу саме на їх комплексній підготовці. Використання математичних моделей в задачах судноводіння та їх реалізацію методами інформаційних технологій розглядав у дослідженні «Вдосконалення алгоритмів інформаційного забезпечення маневрування суден» Калініченко Є. В. [2] Необхідність володіння методами рішення задач навігації підкреслює в роботі «Розробка способу урахування траєкторії похибки повороту судна» Казак Ю. В. [3].

Метою проведеного дослідження є вивчення специфіки використання інформаційних технологій вирішення професійно спрямованих навігаційних задач методами вищої математики.

Спеціальні професійні дисципліни підготовки фахівців морського профілю, зокрема судноводіїв, містять велику кількість завдань, які потребують вирішення математичними методами. Курсант зобов'язаний побудувати алгоритм проведення розрахунків, реалізувати розрахунки за складними формулами, враховуючи специфіку завдання, та, головне, мати можливість швидко проводити перерахунки при зміні вхідних даних. Доцільним є використання інформаційних технологій, наприклад, Google Tables або електронних таблиць Excel, які дозволяють, змінюючи вхідні дані, миттєво отримувати результат. Показовим з цієї точки зору прикладом є алгоритм розрахунку всіх показників рейсу на основі відомих координат порту відправлення судна A (широта φ_1 та довгота λ_1) та порту прибуття B (широта φ_2 та довгота λ_2), розмірів судна та його навантаження. До того ж, розрахункові формули повинні враховувати напрями широти (N або S) та довготи (E або W), кліматичні умови регіону, тобто крім звичайних математичних формул використовуються логічні функції та їх суперпозиції. Заздалегідь підготовлена форма обчислення дозволяє лише змінити вхідні дані та отримати гарантовано правильні результати, причому випускник морського вишу має вміти самостійно будувати такі алгоритми.

Основна частина. Отже, спочатку розглянемо найпростішу задачу: визначення невідомих параметрів сферичного трикутника за відовими вхідними даними. Сферичний трикутник має шість основних елементів: три кути A , B , C та три сторони a , b , c . Кути позначаються тими ж великими літерами, що й вершини трикутника, а протилежні їм сторони – відповідними малими буквами.

Кути сферичного трикутника рівні відповідним двограним кутам тригранника. Сторони трикутника, визначені у кутовій чи радіанній мірі, дорівнюють відповідним плоским кутам тригранника. Тобто, всі шість елементів сферичного трикутника дорівнюють відповідним елементам тригранника. Розрахункові формули дозволяють за трьома будь-якими параметрами сферичного трикутника знайти останні три. Наприклад, якщо відомі дві сторони a , b та кут між ними C , знаходимо кути A , B та сторону c . Відповідно формули мають вигляд:

$$\cos C = \cos a \cdot \cos b + \sin a \cdot \sin b \cdot \cos C \quad (1)$$

$$\operatorname{ctg} A = \frac{\operatorname{ctg} a \cdot \sin b - \cos b \cdot \cos C}{\sin C} \quad (2)$$

$$\operatorname{ctg} B = \frac{\operatorname{ctg} b \cdot \sin a - \cos a \cdot \cos C}{\sin C} \quad (3)$$

Але для остаточного знаходження кутів A , B та сторони c треба використовувати зворотні тригонометричні функції. Отримані результати треба перевести з радіанної міри у градусну та представити їх у звичайній формі. Затрати часу навіть для розв'язання однієї задачі достатньо громіздкі, причому, без впевненості в правильності отриманих результатів.

В курсі інформаційних технологій розглядається тема автоматизації розрахунку завдань сферичної тригонометрії. Алгоритм розв'язання запропонованої найпростішої задачі: за трьома відомими параметрами сферичного трикутника знайти невідомі.

Для майбутнього моряка – судноводія ці задачі мають навчальне значення, тобто розуміння постановки задачі, розрахункових формул, уміння ними користуватися, побудови алгоритму їх використання та оцінки і перевірки отриманого результату. Але це є першим кроком до розв'язання професійно спрямованих задач, таких як визначення місцеположення судна, тобто широти та довготи його знаходження або пункту прибуття, розрахунок запасу палива з урахуванням погодних умов, дрейфу, обходу підводних рифів, здійснення навігаційної прокладки, визначення проміжних точок траєкторії руху та багато інших задач, які відносяться до категорії судноводійських розрахунків. Наше дослідження стосується повної узгодженості формул сферичної тригонометрії та спеціальних методів проведення навігаційних розрахунків, а головне, оптимізації цих розрахунків завдяки побудові оптимальних алгоритмів та їх реалізації в електронних таблицях MS Excel.

Тепер розглянемо основну задачу, на прикладі якої відстежимо взаємозв'язок між різними підходами розв'язування завдання та проведемо аналіз отриманих результатів. Така методика дозволяє курсанту-судноводію осмислити сутність технічної постановки задачі та необхідність користування як математичним апаратом, так і можливостями сучасних засобів проведення розрахунків, які включають вміння структурувати дані та оптимізувати алгоритм реалізації.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	ВХІДНІ ДАНІ ЗА УМОВАМИ ЗАДАЧІ										
2	Маніла		14° 35' N	120° 58' E							
3	Лісабон		38° 41' N	9° 09' W							
4	ПЕРЕВЕДЕННЯ У ДЕСЯТКОВУ ТА РАДІАННУ ФОРМУ										
5	ШИРОТА, φ				ДОВГОТА, λ						
6		град	хв	напрям	ДЕСЯТКОВА	РАДІАННА	град	хв	напрям	ДЕСЯТКОВА	РАДІАННА
7	Маніла	14	35	N	14,58	0,25	120	58	E	120,97	2,11
8	Лісабон	38	41	N	38,68	0,68	9	9	W	9,15	0,16
9	Дуга МП (Маніла-Лісабон): центральний кут										
10	$\cos a = \sin \phi_2 \cdot \sin \phi_1 + \cos \phi_2 \cdot \cos \phi_1 \cdot \cos(\lambda_1 + \lambda_2)$.										
11		cos a =		-0,329408	a =		1,906				
12	Найкоротша відстань між Манілою та Лісабоном										
13	R Земної кулі, км										
14		6370		12144,2	6557,9						
15				км	мор. миль						
16											

Рисунок 1 – Розрахунок відстані між портами методами сферичної тригонометрії

Припустимо, що відомі координати порту відправлення судна: широта ϕ_1 та довгота λ_1 , та порту прибуття: широта ϕ_2 та довгота λ_2 . Треба визначити відстань між цими

портами. Для прикладу, це відстань між портами Маніла та Лісабон. Спочатку вирішимо цю задачу методами сферичної тригонометрії (рис. 1).

На рисунку 1 добре видно, як можна структурувати розрахунки щоб алгоритм був оптимальним та зрозумілим. Як бачимо, найкоротша відстань між Манілою та Лісабоном складає 12144,2 км, або 6557,9 морських миль (1 морська миля = 1,852 км).

Тепер будемо користуватися формулами навігаційної прокладки:

$$tgK_i = \frac{PD_i \cdot \cos(\varphi_{cp_i})}{PШ_i} \quad (4)$$

$$S = \sqrt{PШ_i^2 + PD_i^2 \cdot \cos(\varphi_{cp})^2} \quad (5)$$

де K_i – курс, яким прямує судно, $PШ$ та PD відповідно різниця широт та довгот портів відходу та приходу, φ_{cp} – середня широта між портами (рис. 2).

Перехід судна Маніла-Лісабон											
Координати											
Точки переходу	широта, ф			довгота, л			Широта	Довгота	РД	Середня широта	РШ
	градуси	хв.	напрям	градуси	хв.	напрям					
Маніла	14	35	N	120	8	E	14,58	120,13	-129,3	26,63	24,10
Лісабон	38	41	N	9	9	W	38,68	-9,15			
Модуль курсу			78,22			$tgK_i = \frac{PD_i \cdot \cos(\varphi_{cp_i})}{PШ_i}$					
Відстань			7083,1			$S_i = \sqrt{(\varphi_{i+1} - \varphi_i)^2 + ((\lambda_{i+1} - \lambda_i) \cdot \cos(\varphi_{cp}))^2}$					
			13117,9			МІЛЬ					
						КМ					

Рисунок 2 – Розрахунок відстані між портами навігаційними методами

За розрахунками, відстань між Манілою та Лісабоном складає 13118 км, або 7083 миль. Цей результат майже на тисячу кілометрів перевищує попередній, але він враховує саме протяжність морського шляху з урахуванням особливостей рельєфу. До того ж, розраховується так званий істинний курс судна.

Але наступний підхід дозволяє виконати повну прокладку

Постановка задачі. Відомі географічні координати портів A і B земної поверхні: широти φ_1, φ_2 та довготи λ_1, λ_2 . Треба знайти відстань між портами A і B , значення проміжних широт дуги великого кола для нанесення на меркаторську карту та виконати навігаційну прокладку. Для отримання відповідей на поставлені питання потрібно визначити деякі важливі поняття.

Локсодромія – лінія постійного курсу. При плаванні судна на невеликі відстані (сотні миль) та веденні графічного числення шляху судна на карті в проекції Меркатора зручно виконувати це плавання по локсодромії - лінії постійного курсу, незважаючи на те, що це і не найкоротша відстань між двома заданими точками.

Ортодромія – дуга великого кола (ДВК) – найкоротша відстань між двома точками на земній сфері – крива, звернена (на МНК в проекції Меркатора) опуклістю до найближчого полюсу. Плавання вздовж дуги великого кола (довжина ортодромії):

$$S_{орт} = \arccos(\sin \varphi_n \cdot \sin \varphi_k + \cos \varphi_n \cdot \cos \varphi_k \cdot \cos(\lambda_k - \lambda_n)) \quad (6)$$

де $\varphi_n, \varphi_k, \lambda_n, \lambda_k$ – координати початкової і кінцевої точок.

Довжина локсодромії:

$$S_{локс} = \frac{\varphi_k - \varphi_n}{\cos\left(\arctg\frac{(\lambda_n - \lambda_k) \cdot \cos\frac{\varphi_n + \varphi_k}{2}}{\varphi_k - \varphi_n}\right)} \quad (7)$$

Широти проміжних точок дуги великого кола для нанесення на меркаторську карту можна знайти за формулою:

$$\varphi_i = \arctg\frac{\sin(\lambda_i - \lambda_0)}{tgK_0}, \quad (8)$$

де λ_i – довгота проміжної точки, λ_0 – довгота точки перетину екватора ортодромії, K_0 – кут між меридіаном і ортодромією в точці перетину екватора.

$$\lambda_0 = \frac{\lambda_n + \lambda_k}{2} - \arctg \left[\frac{\sin(\phi_n + \phi_k)}{\sin(\phi_k - \phi_n)} * \operatorname{tg} \frac{\lambda_k - \lambda_n}{2} \right] \quad (9)$$

$$K_0 = \arctg \frac{\sin(\lambda_n - \lambda_0)}{\operatorname{tg} \phi_n} \quad (10)$$

Точки переходу	широта			довгота			Широта, град	Широта, радіан	Довгота, град	Довгота, радіан
	градуси	хвилини	напрям	градуси	хвилини	напрям				
Маніла	14	35	N	120	8	E	14.58	0.25	120.13	2.10
Лісабон	38	41	N	9	9	W	38.68	0.68	-9.15	-0.16
	рад	град								
Sort =	1.8975	108.7206	6523.24	миль			$\lambda =$	2.3	радіан	
	рад	град	12081.04	км			$K_0 =$	-0.7	радіан	
S локс =	2.0604	118.0517	7083.102	миль						
			13117.9	км						
Довгота, град	Довгота, радіан	Ф, радіан	Ф, град	град	хвилини	Траєкторія руху судна				
120.13	2.10	0.2545	14.5833	14	35					
110.13	1.92	0.4417	25.3048	25	18					
100.13	1.75	0.5910	33.8641	33	52					
90.13	1.57	0.7039	40.3292	40	20					
80.13	1.40	0.7859	45.0292	45	2					
70.13	1.22	0.8431	48.3078	48	18					
60.13	1.05	0.8802	50.4336	50	26					
50.13	0.87	0.9003	51.5852	51	35					
40.13	0.70	0.9051	51.8592	51	52					
30.13	0.53	0.8950	51.2786	51	17					

Рисунок 3 – Розрахунок траєкторії руху судна

Висновки. Ціна помилки в завданнях судноплавства може бути непомірно висока, так як тягне за собою не тільки ризик величезних економічних втрат, нанесення шкоди навколишньому середовищу, але і загрозу життю членів екіпажу судна. Так, якщо допустити помилку у визначенні координат точки приходу судна лише на один градус, судно опиниться за 60 миль від запланованого пункту. В якості прикладу розглядався рух судна від порту Маніла до порту Лісабон. Розрахунки, виконані різними методами, підтвердили гіпотезу про те що результат за навігаційними формулами враховує саме протяжність морського шляху з урахуванням особливостей рельєфу, а за формулами сферичної тригонометрії – відстань «по прямій». Але він також важливий для майбутнього судноводія, тому що дозволяє отримати оцінку шляху та зробити висновки про взаємне розташування портів. До того ж, розраховується так званий істинний курс судна, а також проміжні точки дуги великого кола (за ортодромією).

Основною перевагою проведеного дослідження є активне використання сучасних інформаційних технологій, а саме, оптимізація проведення навігаційних розрахунків. Такий підхід, крім наявних результатів, дозволяє краще розуміти зміст складних математичних формул, набути навички їх застосування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кочерев О. С. Система дипломування судноводіїв у галузі морського, зокрема річкового, судноплавства України. Південноукраїнський правничий часопис 3'2021, Том 1. Вид-во Одеський державний університет внутрішніх справ, 2021. – С.77–81.
2. Калініченко Є. В. Вдосконалення алгоритмів інформаційного забезпечення маневрування суден. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук. Одеса, 2017. Режим доступу: <http://onma.edu.ua/spetsializovana-vchena-rada-d-41-106-01>.
3. Казак Ю. В. Розробка способу урахування траєкторної похибки повороту судна при оцінці безпеки судноводіння. Дисертація на здобуття ступеня канд. наук. Національний університет "Одеська морська академія". 2020. Режим доступу: <https://uacademic.info/ua/document/0420U102175#!>