

## ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАСОБУ GEOGEBRA У ПРОЦЕСІ НАВЧАННЯ СУДНОВОДІВ

**Шаповал Євген Володимирович,**

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



**Анотація.** У статті подано результати експериментального дослідження застосування систем комп'ютерної математики у процесі навчання і самонавчання судноводів. Показано, що візуалізація засобом GeoGebra процесу визначення місця судна є ефективнішою, ніж застосування побудов на традиційних планшетах. Отримані результати також свідчать на користь визнання необхідності доповнення даних, отриманих від супутникового вказівника курсу, гірокомпасу, даними від високоточних локаторів, і доповнення навігаційних систем судна адаптивними алгоритмами, які б використовували дані, отримані від лазерного локатора.

**Ключові слова:** навчання, навігація, експлуатація, супутниковий вказівник курсу, гірокомпас, наземні орієнтири.

Дослідження даних, отриманих від суднових курсовказівників і систем позиціонування, у тому числі супутникових, у різних умовах плавання, виявило, що в процесі експлуатації обладнання трапляються випадки достовірно більшої похибки показів зазначених систем, ніж вказані у формулярах відповідних пристроїв. Причини виникнення таких розбіжностей досить аргументовано викладено у роботах [2, 3]. Натурні експерименти проводилися автором з прийомоіндикаторами GPSiГЛОНАСС, виробник SAAB (модель R-4). Експериментальні спостереження виконувалися з квітня до червня 2012 р. і в серпні — жовтні 2014 р. на борту танкера «HarbourFountain» у портах Тихого океану і Карибського моря.

Потреба в коригуванні значень координат і курсу виникає, зокрема, тоді, коли судно наближається до перешкод, але в районі плавання відсутні наземні опорні станції системи DGPS (DifferentialGPS). Результати, отримані за допомогою диференціального методу, значною мірою залежать від відстані між об'єктом і опорною станцією. Застосування цього методу найбільш ефективно, коли переважаючими є систематичні помилки, зумовлені зовнішніми (щодо приймача) причинами. Але опорна станція має знаходитися не далі за 500 км від об'єкта. Також не скрізь доступними є й сигнали таких систем, як американська WAAS, європейська EGNOS і японська MSAS, які використовують геостационарні супутники для передавання поправок всім споживачам, що знаходяться в зоні їх покриття.

Отже, виникає проблема контролю точнісних характеристик навігаційних систем у процесі реальної експлуатації і внесення, за необхідності, відповідних поправок. Зазначені вище похибки не можуть бути усунені в процесі експлуатації судна, тому виникає проблема підготовки судноводів до застосування ними традиційних методів визначення місця судна, але з використанням сучасних апаратних і програмних засобів, доповнення алгоритмів опрацювання даних програмними складниками навігаційних систем, які б вносили необхідні поправки у визначене положення судна.

Як можливі шляхи виконання цього завдання можуть бути запропоновані періодичні сукупні вимірювання параметрів апаратури, призначеної для визначення координат і параметрів руху судна, які мають виконуватися за певними алгоритмами.

Одним із важливих способів суттєвого підвищення точності обсервації є використання берегових орієнтирів, суміщення в одному індикаторі картографічних даних і даних, отриманих від локатора (радіо або оптичного діапазонів) [4].

Обов'язковість оснащення морських суден ЕКНІС системами, яке послідовно реалізується з 2012 до 2018 років, пред'являє до судноводів особливі вимоги, пов'язані з необхідністю розумінням ними суті і принципових особливостей роботи апаратно-програмного забезпечення, а також з умінням оцінювати правильність отримуваних від нього як елемента інтегрованої навігаційної системи даних.

Поєднання різних навігаційних систем відбувається вже досить давно, електронні картографічні системи (ЕКС) стали першими повноцінним інтеграторами навігаційної інформації. Наразі, поєднання ЕКС тільки із системою позиціонування (GPS або ГЛОНАСС) давно вже не влаштовує більшість судноводів. Типовим набором джерел даних нині є компас, лаг, ехолот, датчик вітру тощо.

Для судноводія подібне подання інформації дозволяє значно полегшити роботу. Однак в інтеграції є й недоліки, які полягають, з одного боку, у тому, що завдяки легкості сприйняття інтегрованої інформації спостерігається ефект необґрунтованої абсолютної довіри техніці, а, з іншого, — призводить до неправильного оцінювання ситуації у разі виникнення збоїв. У новій редакції Міжнародної конвенції про підготовку і дипломування моряків і несення вахти (ПДНВ) у вимогах до судноводів значне місце відведено вміню оцінювати можливі помилки в роботі ЕКНІС системи (т. зв. Манільські поправки 2010 року). Складність полягає в тому, що оперативно виявити помилки і прийняти їх до відома без розуміння принципів роботи системи неможливо.

Тому важливим є практично зорієнтоване ознайомлення судноводів з можливостями сучасних навігаційних систем, зокрема в частині опрацювання даних, отриманих шляхом пеленгування берегових орієнтирів.

На відстанях, для яких розв'язуються зазначені задачі, не потрібно враховувати кривизну поверхні Землі, тобто можна використовувати прості геометричні побудови, що й робиться традиційними засобами (побудова креслення на планшеті, карті). Точність таких побудов, зазвичай, набагато менша сучасних вимог до точності обсервації. Час, який витрачається на побудову, досить великий, тому формування навичок (які, до того ж, надалі майже ніколи не використовуватимуться) проблематичне. Наразі судноводів не отримує необхідних знань щодо алгоритмів опрацювання даних, не бачить динаміки змінних даних і похибок при взаємном переміщенні судна і берегових орієнтирів, впливу апаратних засобів отримання значень пеленгів (оптичне візування, радіолокатор сантиметрового діапазону, радар оптичного діапазону).

Для емуляції роботи програмної частини опрацювання даних, отриманих від зазначених вище засобів навігації, було зроблено спробу використати програмний засіб OziExplorer як досить поширений засіб інтегрування ЕКС і супутникової навігаційної системи [8]. Перші ж спроби виконання побудов у зазначеному програмному засобі вказали на недоцільність його використання, оскільки отримання динамічного зображення в OziExplorer було проблематичним, унаочнення навігаційних задач було недостатнім для їх аналізу й формування.

Після аналізу можливостей, які надаються користувачеві доступними системами комп'ютерної математики, було визнано доцільним використання програмного засобу GeoGebra. Зазначений засіб було створено як засіб навчання, тому його інтерфейс простий, а набір його інструментів достатній для розв'язування деяких задач навігації. Відсутність його інтегрування з ЕКС у конкретно-

му випадку є несуттєвою, оскільки координати точок і метрику площини побудови можна обирати як у лінійних одиницях, так і в кутових. Тобто точка перетину осей координат, умовно, може бути точкою перетину нульового меридіану й екватора, лінії розмітки координатної площини в декартових координатах можуть репрезентувати паралелі й меридіани (вертикальну вісь спрямовують на дійсну північ — TN).

На рис. 1 і 2 подано повні креслення до навігаційної задачі, яка полягає у визначенні місця за двома пеленгами на один об'єкт. Реально ця задача виникає тоді, коли судно наближається до берега, або рухається вздовж нього, не маючи точно визначених координат. Координати об'єкта А (навігаційний знак, маяк, топографічний

знак з кутовим відбивачем тощо) відомі. Також відомі час, швидкість і курс судна між точками В і С. Фактично на обох рисунках зображена одна й та ж ситуація, і це можна дуже просто показати в динаміці, рухаючи точки В і С, переміщуючи пряму а (курс судна), зберігаючи постійним значення кута б. Оскільки це можна робити, відстежуючи всі відстані і кути, використання такої динамічної моделі є набагато наочнішим і кориснішим, ніж використання статичних креслень. Слід наголосити, що аналогічно виконується опрацювання даних пеленгування об'єкта і в системі автоматизованого управління судном. За результатами пеленгування може здійснюватися корегування показів супутникових систем, якщо таке корегування від DGPS недостатнє (опорна станція

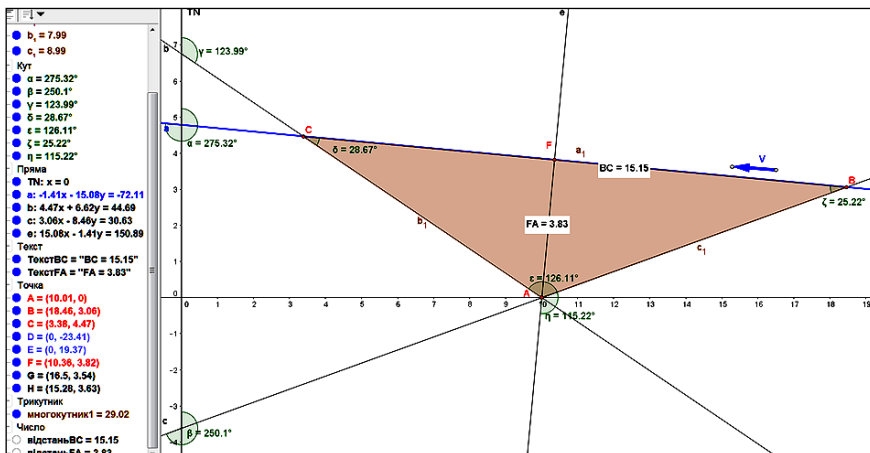


Рис. 1. Розв'язання навігаційної задачі за двома пеленгами на один об'єкт і зчисленням положенням

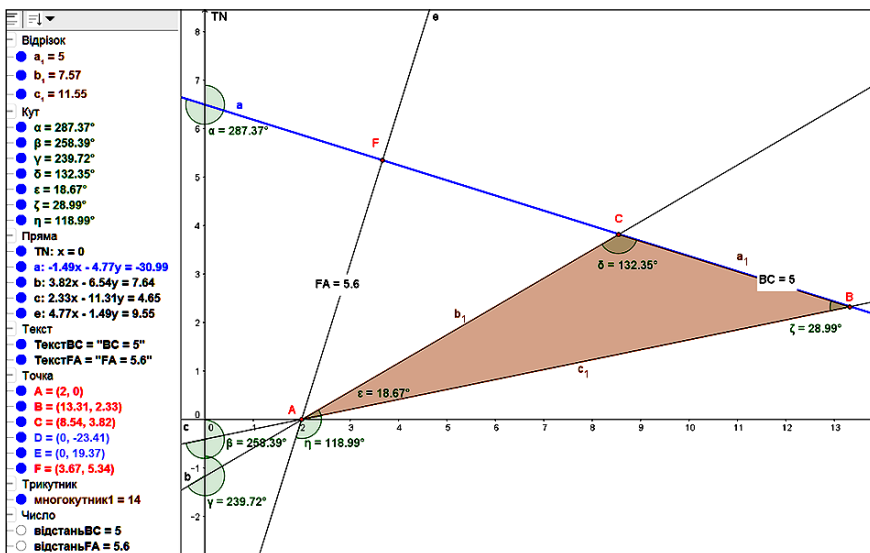


Рис. 2. Розв'язання навігаційної задачі за двома пеленгами на один об'єкт і зчисленням положенням (друге пеленгування відбувається до проходження об'єктом траверсу судна)

надто далеко, специфічний район плавання тощо).

На обох рисунках позначено і визначено (на панелі значень) відстань  $AF$ , тобто відстань до об'єкта під час його знаходження на траверсі судна (пряма  $e$  перпендикулярна  $a$  за побудовою), що теж може бути метою розв'язування задачі, особливо під час проходження вузостей.

На рис. 3 подано креслення, яким можна проілюструвати вплив неодноразовності взяття пеленгу на два об'єкти  $A$  і  $F$  (реальна задача, яка виникає під час проходження судном проток, заходу в канали тощо). Відстань між точками  $B$  і  $C$  залежить від швидкості судна й оперативності роботи судноводія (якщо пеленгування здійснюватиметься «вручну»), швидкості обертання антени радара (якщо значення пеленгів буде отримано за його даними), швидкості повертання відповідного пристрою лідара тощо.

Для того щоб оцінити похибки, що виникають, судноводієві пропонується доповнити рисунок відрізком перпендикуляра, опущеного з точки перетину прямих  $b$  і  $c$  на пряму  $a$ ; для швидкості, наприклад, 10 вузлів, і часу між взяттям пеленгів 1...5 хвилин, обчислити відстань  $BC$  у відповідному масштабі (зручно — у кабельтових) і встановити її на побудові (використати значення, обчислене програмою для відрізка  $BC$ ). Проробити ці дії для проміжків часу між отриманням даних від локаторів радіо й оптичного діапазонів. Отримані як результат дані найкраще переконують у тому, що лазерний локатор (за наявності достатньої кількості атестованих і обладнаних відбивачами об'єктів на суходолі) може забезпечити найбільшу з можливих точностей пеленгування, а отже — визначення місця судна.

На рис. 4 проілюстровано ще один метод визначення місця судна під час його руху поблизу берега. Метод полягає в послідовному пеленгуванні двох об'єктів на суходолі, координати яких відомі. Метод застосовується тоді, коли неможливе одночасне пеленгування об'єктів  $F$  і  $A$  (відсутність видимо-

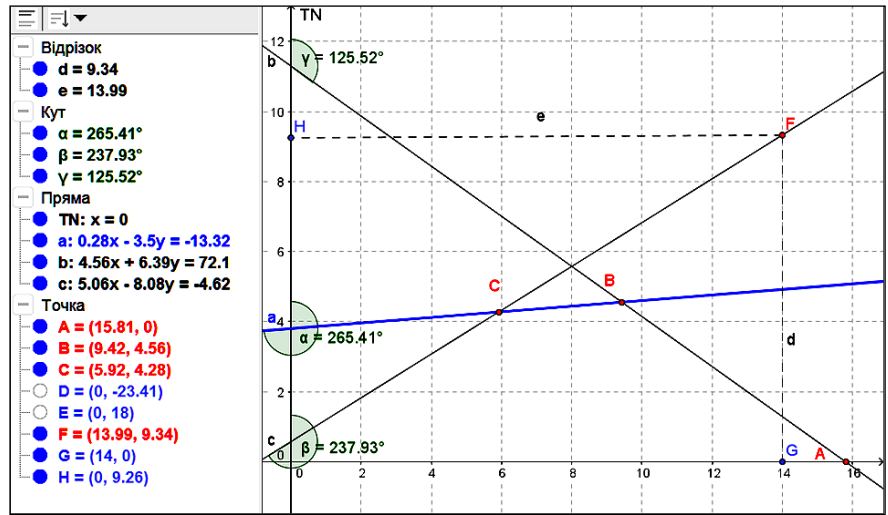


Рис. 3. Вплив неодноразовності взяття пеленгів на точність визначення місця судна

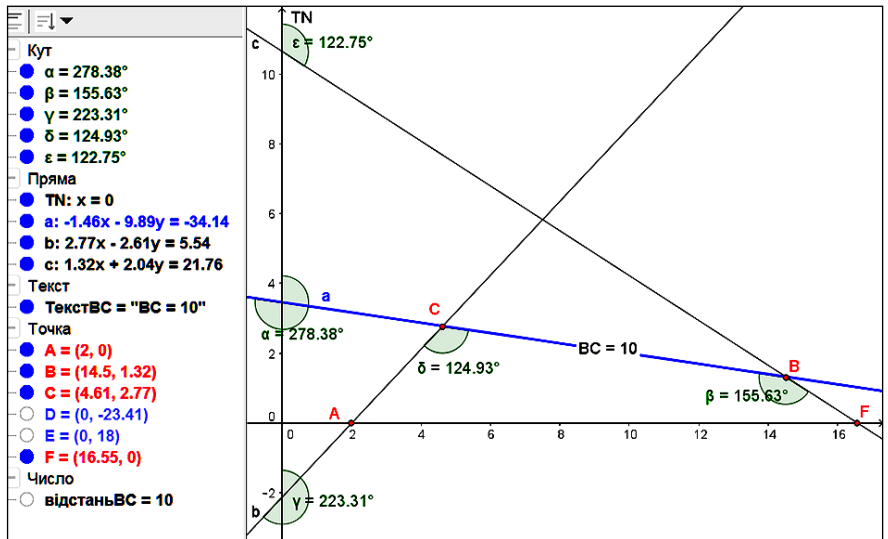


Рис. 4. Визначення місця судна методом послідовного пеленгування двох об'єктів

сті об'єкта  $A$  з точки  $B$ ). Передбачається, що вектор обчислюється за показами годинника, лагу (швидкості) і курсовказівника (можна розглядати випадки наявності достовірних значень курсу, отримуваних від гірокомпасу, але відсутності даних від супутникового курсовказівника, або навпаки, вимірювання швидкості відносно води і відносно дна). Аналіз впливу варіантів відмов первинних перетворювачів сигналу і можливих ситуацій (наявність течії, вітру, особливостей рельєфу дна тощо) на точність визначення місця судна, може бути проведений шляхом накладання на побудову, подану на рис. 5 додаткових побудов, виконаних з урахуванням похибок, що виникають як наслідок зазначених відмов.

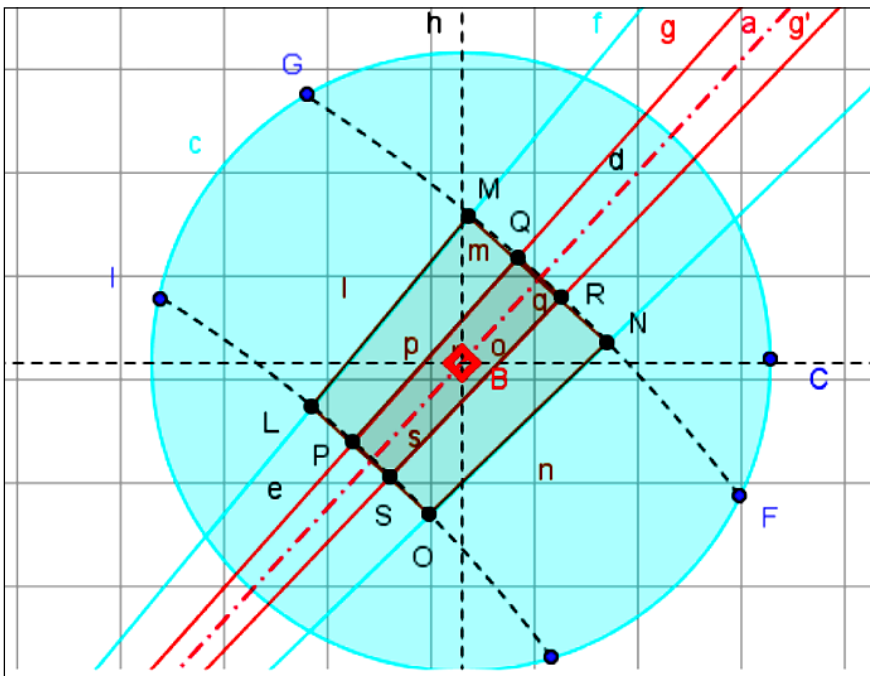
На рис. 5 подано зображення меж, у яких може знаходитися су-

дно внаслідок похибок обсервації. Коло радіуса  $BC$  репрезентує окіл, у якому умовний центр судна (точка  $B$ ) може знаходитися за результатами обчислень, отриманих від звичайної системи GPS, не підкріпленої DGPS (для ГЛОНАСС радіус  $BC$  суттєво більший).

Чотирикутник  $LMNO$  є околом, у якому знаходиться умовний центр судна за обчисленнями, виконаними з урахуванням даних, отриманих від супутникової системи навігації і радіолокатора сантиметрового діапазону.

Чотирикутник  $PQRS$  є околом, у якому знаходиться умовний центр судна за обчисленнями, виконаними з урахуванням даних, отриманих від супутникової системи навігації і локатора оптичного діапазону (лазерного локатора).

Відстані  $LM$  і  $PO$ , які відповідають похибкам визначення да-



**Рис. 5. Співвідношення між похибками визначення координат судна різними сучасними методами (орієнтовний масштаб: 1 кабельтов — двадцять сторін клітинок)**

льності, умовно прийнято однаковими, що відповідає дійсності тільки у випадку використання локатором сантиметрового діапазону орієнтирів, оснащених кутовими відбивачами. Відстані MN і LO (похибки визначення пеленгу на орієнтир радіолокатором) залежать від ширини діаграми спрямованості антени і тривалості зондуючого імпульсу.

Рисунок може бути застосований для пояснення як динамічна керована модель, що використовується для аналізу впливу доповнення даних, отриманих від системи позиціонування судна за даними орбітальних об'єктів, даними, отриманими від локаторів сантиметрового діапазону, і лазерного локатора.

Отже, використання програмного засобу GeoGebra для візуалізації процесу визначення місця судна є корисним для навчання і самоосвіти судноводіїв, забезпечуючи простий і ефективний спосіб приведення їхніх компетентностей у відповідність до нових вимог. Звичайно, зазначений програмний засіб може використовуватися і як оперативний графічний калькулятор для обчислення координат судна, але таке використання програмного засобу може мати місце лише в екстремальних ситуаціях.

Не маючи статусу обов'язкових, ці дії забезпечуватимуть судноводія інформацією, керуючись якою, він зможе обґрунтовано оцінювати достовірність даних щодо переміщення і позиціонування судна, приймати рішення щодо необхідності долучення до розгляду даних, отриманих шляхом обсервації за береговими орієнтирами, використання даних автоматизованих систем ідентифікації та берегових навігаційних систем.

\* \* \*

**Шаповал Е. В. Использование программного средства GeoGebra в процессе обучения судоводителей**

**Аннотация.** В статье представлены результаты экспериментального исследования применения систем компьютерной математики в процессе обучения и самообучения судоводителей. Показано, что визуализация средством GeoGebra процесса определения места судна эффективнее, чем применение построений на традиционных планшетах. Полученные результаты также свидетельствуют в пользу признания необходимости дополнения данных, полученных от спутникового указателя курса, гироскопа, данным от высокоточных локаторов, и дополнения навигационных систем судна адаптивными алгоритмами, которые использовали данные, полученные от лазерного локатора.

**Ключевые слова:** обучение, навигация, эксплуатация, спутнико-

вый указатель курса, гироскоп, наземные ориентиры.

\* \* \*

**Shapoval Evgeny. Use of software GeoGebra in the process of navigators learning**

**Resume.** Results of an experimental study using of computer mathematics system in the process of navigators learning and self-training the article presented. It is shown that visualization process of determining the ship's position by GeoGebra software is more effectively than the application builds on traditional plates. The results also favor the recognition of the need to supplement the data obtained from the satellite heading indicator, gyrocompass, high-precision radar and navigation systems complement vessel adaptive algorithm, which used data from the laser radar.

**Keywords:** training, navigation, operation, satellite heading indicator, gyrocompass, landmarks.

**Література**

1. Бендус И. И. Теория и устройство судна: Конспект лекций. В двух частях. — Часть 1. //Игорь Иванович Бендус / 2-е изд., перераб. и доп. — Керчь. : КГМТУ, 2006. — 193 с.
2. Гоголін С., Іванович В. Обоснование точности определения места судна при использовании данных GPS в дифференциальном режиме. // Водный транспорт : збірник наукових праць Київської державної академії водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного. — К. : КДАВТ, 2013. — №1(16). — С. 205–209.
3. Неусыпин К. А. Алгоритмические методы коррекции навигационных систем летательных аппаратов // К. А. Неусыпин, В. А. Пролетарская, Е. Ю. Алексеева / 77-48211/547962 # 03, март 2013. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана. — С. 557–570.
4. Фадеев В. А. Зачем нужен радарный оверлей? / Владимир Алексеевич Фадеев [Электронный ресурс]. — Режим доступа : [http://navmarine.ru/page/zachem\\_nughen\\_radar\\_nyy\\_overlay](http://navmarine.ru/page/zachem_nughen_radar_nyy_overlay).
5. GeoGebra [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.geogebra.org/cms/>.
6. GPS компас JLR-10T [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://jrc-russia.ru/jlr10t.html>.
7. Gyrocompasses — CMZ 700 series [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.marinersannual.com/2005sample/0852-05.pdf>.
8. OziExplorer [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://ozieplorer.com>.