

УДК 656.62.052.4

РАЗРАБОТКА АНАЛИТИЧЕСКОГО СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЦИРКУЛЯЦИИ СУДНА ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ С ПОМОЩЬЮ ГНСС ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАНЕВРЕННОСТИ

Бажанкин Юрий Владимирович¹, кандидат технических наук, доцент

e-mail: seaman77@mail.ru

Бажанкин Павел Юрьевич², обучающийся

e-mail paulbazhankin@mail.ru

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

² Муниципальное автономное общеобразовательное учреждение «Лицей № 38», Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В данном материале рассмотрены принципы траекторных измерений маневра «циркуляция» с помощью ГНСС, дано описание методов исключения из измерений влияния внешних факторов на траекторию судна. Разработаны аналитические методики определения радиусов циркуляции по центру тяжести и по корме, а также углов дрейфа по центру тяжести и по корме используя массивы данных, полученных от ГНСС. Показана возможность создания программного обеспечения для определения параметров поворотливости судна непосредственно после выполнения испытательного маневра.

Ключевые слова: маневренность судна, аналитический расчет, автоматизация, программное обеспечение, глобальные спутниковые навигационные системы.

DEVELOPMENT OF METHOD FOR CALCULATION OF VESSEL'S STEADY TURN PARAMETERS BY DATA DERIVED FROM GPS FOR AUTOMATIZATION OF MANOEVRABILITY

Bazhankin Yuriy Vladimirovich¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

e-mail: seaman77@mail.ru

Bazhankin Pavel Iurevich², School Student

e-mail: paulbazhankin@mail.ru

¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

² Lyceum No. 38, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. In this material, the principles of trajectory measurements of the steady turn maneuver using GNSS are considered, and methods for excluding the influence of external factors on the trajectory of the vessel are described. Analytical methods have been developed for determining the radius of steady turn by center of gravity and aft, as well as the drift angles by center of gravity and aft using data arrays obtained from GNSS. The possibility of creating software to determine

the parameters of the ship's maneuverability immediately after performing a trial test maneuver is shown.

Keywords: ship maneuverability, analytical calculation, automation, software, global navigation satellite systems.

Требования об обязательном наличии на судне информации о маневренных характеристиках устанавливаются как международными документами, такими как Резолюция А 601(15) Международной морской организации [1], так и российскими – «Руководство по определению маневренных характеристик судов» Российского морского регистра судоходства [2].

Маневренные характеристики судна определяются в процессе ходовых испытаний судна, проводимых судостроительным заводом совместно с заказчиком.

В настоящее время самыми распространенными методиками определения маневренных характеристик являются методики с использованием глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), таких как российская ГЛОНАСС или американская Navstar.

Так как ГНСС определяет местоположение судна каждую секунду, а многие маневры судна занимают продолжительные промежутки времени, приходится иметь дело с большими массивами данных. Возникает задача автоматизированной обработки таких массивов.

Согласно правилам Российского Морского Регистра Судоходства [2] маневренные характеристики судна должны определяться на натурных ходовых испытаниях. В настоящее время для проведения таких испытаний широко применяются глобальные навигационные спутниковые системы, такие как российская Глонасс.

Данные о географических координатах с частотой 1 герц записываются в базу данных, находящуюся на переносном компьютере. Также эти данные синхронизируются по времени. Таким образом, могут быть получены траектории носа и кормы судна.

Поскольку GPS выдает данные о позиции судна в угловых единицах измерения, необходимо эти величины перевести в метры. Для этого необходимо отыскать длину одной минуты широты и долготы для района, где проводились испытания, соответствующие референц-эллипсоиду WGS84.

Для этого были определены [3] простые формулы для высокоточных расчетов l_m и l_p для любой широты φ :

$$\begin{aligned} l_m &= K_{11} - K_{22}\cos 2\varphi + K_{33}\cos 4\varphi; \\ l_p &= [C_{11} - C_{22}\cos 2\varphi + C_{33}\cos 4\varphi] \cdot \cos \varphi, \end{aligned} \quad (1)$$

где l_m – длина одной минуты меридиана, м;

l_p – длина одной минуты параллели, м;

K, C – коэффициенты референц-эллипсоида.

Значения коэффициентов формул (1) выбираются из следующего списка:

Таблица 1

Значения коэффициентов формул для высокоточных расчетов l_m и l_p для любой широты φ

K_{11}	K_{22}	K_{33}	C_{11}	C_{22}	C_{33}
1852,21549	9,33025	0,01936	1858,4416	3,12065	0,00389

Таким образом возможно построить траектории перемещения кормы и центра тяжести, используя данные, полученные по кормовому датчику и датчику в ЦТ.



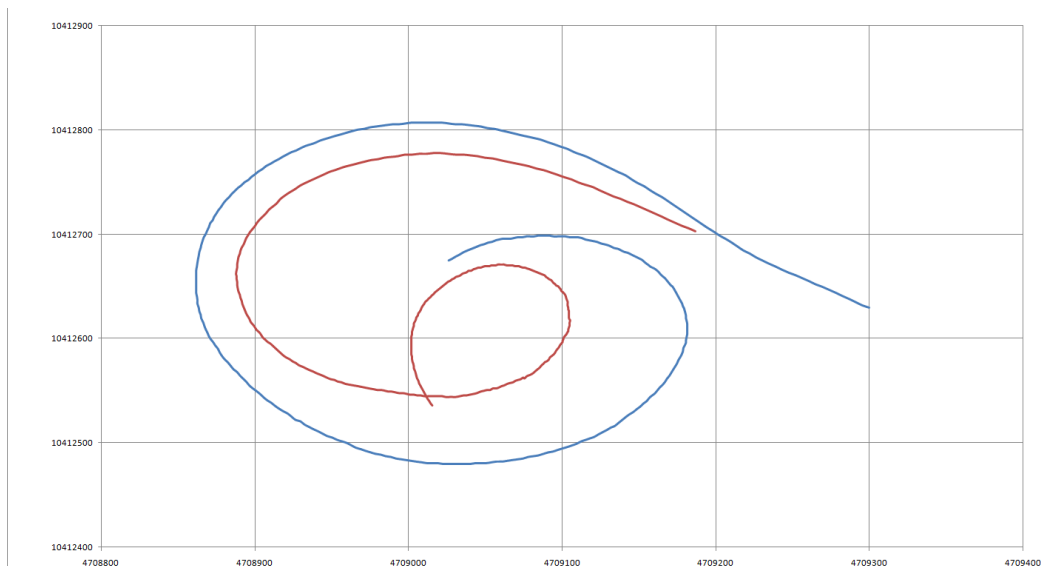


Рисунок 1 – Траектория кормы и носа судна

Так как на судно действуют внешние факторы, необходимо произвести пересчет по следующим формулам [3], чтобы избавиться от их влияния:

$$\begin{aligned} X_{\text{испр}_i} &= X_i + t \cdot V_{\text{сноса}} \cdot \cos(K_{\text{сноса}}); \\ Y_{\text{испр}_i} &= Y_i + t \cdot V_{\text{сноса}} \cdot \sin(K_{\text{сноса}}), \end{aligned} \quad (2)$$

где $K_{\text{сноса}}$ – направление сноса судна, град;

$V_{\text{сноса}}$ – скорость сноса судна, м/с;

t – время, сек;

X_i, Y_i – мгновенные координаты по датчикам ГНСС, м.

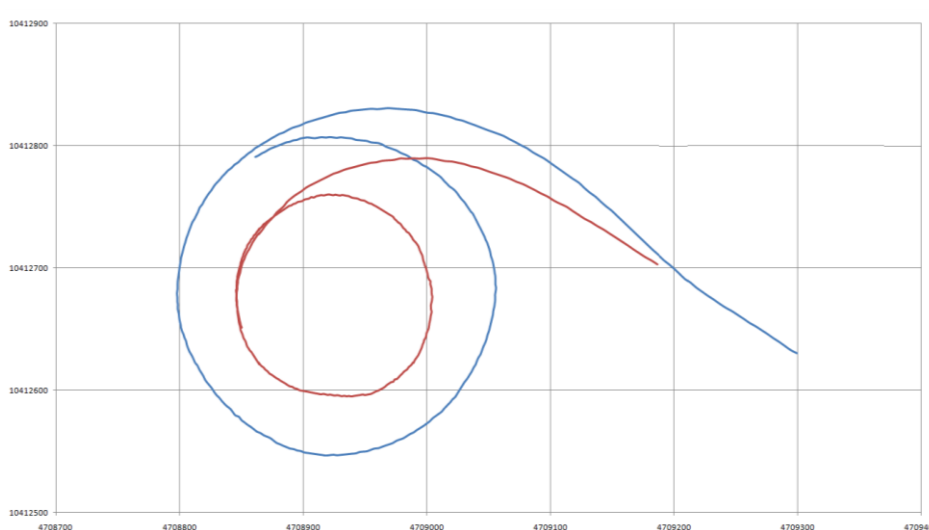


Рисунок 2 – Траектория кормы и носа с учетом внешних факторов

На рисунке 3 представлены пояснения к аналитическому нахождению параметров маневра «циркуляция».

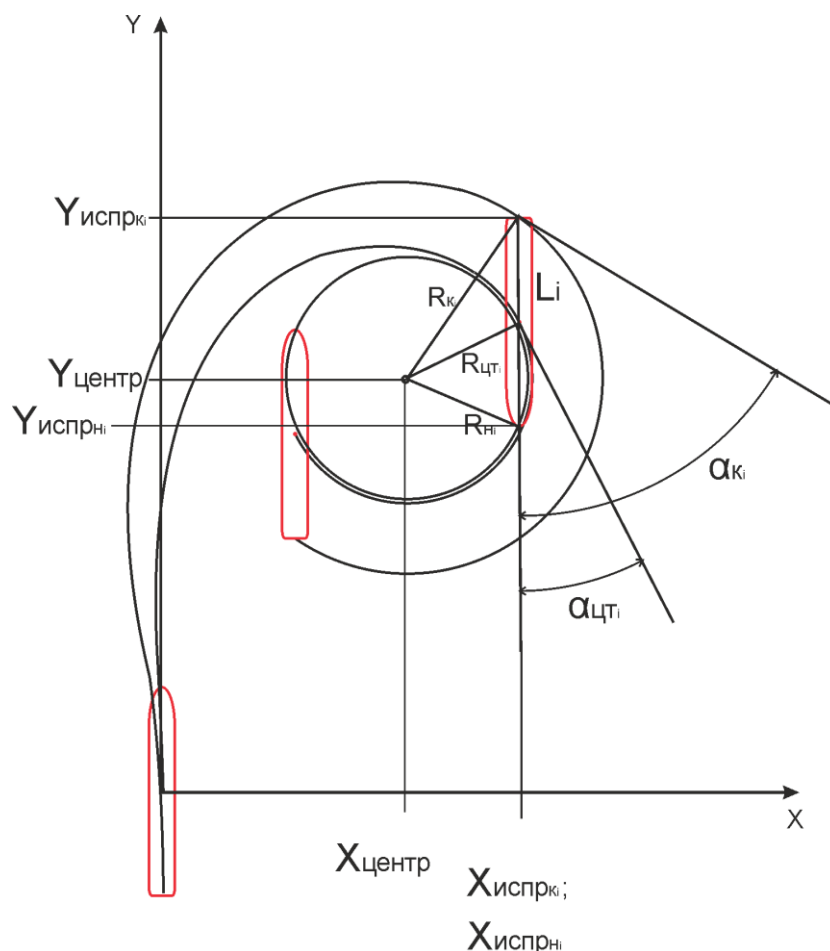


Рисунок 3 – Пояснения к нахождению параметров маневра «циркуляция»

Так как координатами центра окружности является среднее арифметическое координат всех точек окружности рассчитываем координаты центра циркуляции по значениям, полученным из формулы (2):

$$X_{\text{центр}_i} = \sum_{i=1}^n X_{\text{испр}_i} ; \quad (3)$$

$$Y_{\text{центр}_i} = \sum_{i=1}^n Y_{\text{испр}_i}$$

Отдельно находятся координаты центра траектория кормы и центра траектории носа судна. При их несовпадении координаты усредняются.

Рассчитываем мгновенные разницы координат между центром циркуляции и положением датчика ГНСС на корме:

$$DX_{кi} = X_{\text{испр}_{кi}} - X_{\text{центр}_i} ; \quad (4)$$

$$DY_{кi} = Y_{\text{испр}_{кi}} - Y_{\text{центр}_i} ,$$

где $X_{\text{испр}_{кi}}, Y_{\text{испр}_{кi}}$ – мгновенные исправленные координаты по корме

Находим мгновенные радиусы по корме:

$$R_{кi} = \sqrt{DX_{кi}^2 + DY_{кi}^2} , \quad (5)$$

где $R_{кi}$ – мгновенный радиус установившейся циркуляции по корме.

И аналогичным способом находим мгновенный радиус установившейся циркуляции по носу судна:

$$\begin{aligned} DX_{нi} &= X_{испрнi} - X_{центрi}; \\ DY_{нi} &= Y_{испрнi} - Y_{центрi}; \\ R_{нi} &= \sqrt{DX_{нi}^2 + DY_{нi}^2}. \end{aligned} \quad (6)$$

Определяем мгновенный радиус по центру тяжести судна:

$$R_{ц.т.i} = 0,5 \cdot \sqrt{2 \cdot R_{кi}^2 + 2 \cdot R_{нi}^2 - L_i^2}, \quad (7)$$

где L_i – мгновенное расстояние между датчиками ГНСС.

$$L_i = \sqrt{X_{испрi}^2 + Y_{испрi}^2}. \quad (9)$$

Решая по трем сторонам треугольник «Центр циркуляции – кормовой датчик ГНСС – центр тяжести судна» определяем мгновенный угол дрейфа по корме:

$$\alpha_{кi} = \left(90 - \arccos \left(\frac{R_{кi}^2 - R_{цтi}^2 + 0,25 \cdot L_i^2}{R_{кi} \cdot L_i} \right) \right), \quad (8)$$

Решая по трем сторонам треугольник «Центр циркуляции – центр тяжести судна – носовой датчик ГНСС» определяем мгновенный угол дрейфа по центру тяжести:

$$\alpha_{цтi} = \left(90^\circ - \arccos \left(\frac{R_{цтi}^2 - R_{нi}^2 + 0,25 \cdot L_i^2}{R_{цтi} \cdot L_i} \right) \right), \quad (10)$$

где $\alpha_{цтi}$ – угол дрейфа в ЦТ.

Для получения окончательных результатов все рассчитанные мгновенные величины усредняем, так как все значения считаем равноточными.

Оценим точность вычисления геометрических элементов циркуляции. Так как случайные погрешности определения места судна с помощью ГНСС подчинены нормальному закону распределения, то для оценки погрешности каждого мгновенного значения геометрического элемента воспользуемся формулой Бесселя [4]:

$$m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{d} - d_i)^2}{n - 1}}, \quad (11)$$

где m – средняя квадратическая погрешность каждого мгновенного значения геометрического элемента;

\bar{d} – среднее арифметическое всех мгновенных значений геометрического элемента (вероятнейшее значение);

d_i – каждое мгновенное значение геометрического элемента;

n – количество полученных от ГНСС точек.

Для оценки точности вероятнейшего значения геометрического элемента циркуляции воспользуемся формулой (12) [4]:

$$m_{\bar{d}} = \frac{m}{\sqrt{n}} \quad (12)$$

Для сравнения корректности аналитического метода сравним результаты расчета по данной методике и результаты определения геометрических параметров циркуляции, полученных экспертами испытательной лаборатории «Астра-НН» для судов трех проектов [5 – 7]. Используем одни и те же сырые данные. Результаты сравнения представлены в табл. 2.

Таблица 2

Судно	Перекидка рулевых органов, град.	Разница между вычисленными значениями и экспертной оценкой, %			
		Диаметр циркуляции по корме.	Диаметр циркуляции по центру тяжести.	Угол дрейфа по корме.	Угол дрейфа по центру тяжести.
Проект PV300 «Мустай Карим»	22,5	3,4	1,3	7,2	6,1
	37,5	0,4	5,1	8,0	6,7
Проект RSD 59 «Астрол – 1»	22,5	1,3	1,1	8,7	3,2
	37,5	0,5	1,3	2,8	1,2
Проект RST 22 «Волготранс 2501»	22,5	1,1	1,6	4,6	4,1
	37,5	1,4	2,7	8,9	5,1

Также методика позволяет выполнить оценку точности определения геометрических параметров циркуляции. Результаты приведены в табл. 3. Осредненные для всех представленных типов судов величины средней квадратической погрешности приведены для уровня погрешности 99,7%, что соответствует международным требованиям к точности судовождения не только в открытом море, но и в стесненных водах [8].

Таблица 3

Результаты оценки точности определения геометрических элементов циркуляции

Значение СКП при вероятности 99,7%			
Диаметр циркуляции по корме	Диаметр циркуляции по центру тяжести	Угол дрейфа по корме	Угол дрейфа по центру тяжести
±1,98 м	±2,03 м	±0,27 град.	±0,48 град.

Как видно из приведенных данных высокой точностью обладает как сам способ определения параметров маневра «циркуляция» по данным ГНСС, так и аналитический способ обработки таких данных, разработанный авторами.



Список литературы:

1. Представление на судах информации об их маневренных характеристиках – Рез.ИМО А.601(15), – СПб.: ЗАО ЦНИИ МФ, изд. 2001г. Provision and Display of Manoeuvring Information on Board Ships – res. A.601 (15);
2. НД 2-030101-007 Руководство по определению маневренных характеристик судов - Российский Морской Регистр Судоходства, 2005 г.
3. Комаровский Ю.А. Применение бортовых приемников GPS для определения элементов установившейся циркуляции судна на постоянном течении // Вестник инженерной школы ДВФУ. 2013. №1 (14). с. 75 – 84.
4. Математические основы судождения / В.П. Кожухов [и др.].-М: Транспорт, 1993.-200 с.
5. № PV300-2020-223 «Формуляр маневренных характеристик пассажирского судна проекта PV300 «Мустай Карим». – ООО «Астра НН», 2020 г. – 31 с.
6. № RSD59-2020-183 «Формуляр маневренных характеристик судна проекта RSD59 «Астрол – 1». – ООО «Астра НН», 2020 г. – 38 с.
7. № RST25-2020-183 «Формуляр маневренных характеристик танкера проекта RST25 «Волготранс 2501». – ООО «Астра НН», 2020 г. – 37 с.
8. Сборник № 23 резолюций ИМО, тексты на русском и английском языках, изд. 2004 г.– СПб.: ЗАО "ЦНИИМФ", 2004. – 232 с.

