

КОРАБЛЕСТРОЕНИЕ

УДК 629.5.018.75: 624.396.932.1: 629.783

Ю.А. Комаровский

КОМАРОВСКИЙ ЮРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник (Морской государственный университет им. адмирала Г.И. Невельского, Владивосток).

E-mail: komarovskiy@msun.ru

**ПРИМЕНЕНИЕ БОРТОВЫХ GPS-ПРИЕМНИКОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ УСТАНОВИВШЕЙСЯ ЦИРКУЛЯЦИИ СУДНА НА ПОСТОЯННОМ ТЕЧЕНИИ**

Стандарты Международной морской организации требуют обязательного проведения натурных испытаний поворотливости судов. Обычно с этой целью используются идентифицированные математические модели судна в качестве прогностических алгоритмов для выполнения прогноза результатов маневрирования. В данной статье предложен способ, основанный на измерениях судовым GPS-приемником координат траектории маневрирующего судна. Способ прост, легко реализуем и не требует априорных сведений о динамике судна на установившейся циркуляции. Показано, что для повышения точности получения маневренных характеристик малотоннажных судов требуется увеличение точности определения координат GPS-приемника. Прием дифференциальных поправок даже вблизи станции DGPS не приводит к значительному повышению точности координат судового GPS-приемника.

*Ключевые слова:* GPS-приемник, установившееся циркуляция, маневренные характеристики судна.

**Implementation of the shipborne GPS receiver to determine the ship's steady turning radius in a constant stream.** Yuri A. Komarovskiy (Maritime State University named after adm. G.I. Nevelskoy, Vladivostok).

The IMO standards require mandatory testing of ship maneuvering characteristics. It is common to use identified mathematical models of the ship to carry out the full-scale ship testing. This article proposes a prognostication method based on pinpointing the trajectory coordinates of a maneuvering ship made by a GPS receiver. The method is simple and lends itself to an easy implementation without requiring a priori information about the dynamics of the ship's steady turning. It has been demonstrated that to increase the precision of maneuvering characteristics of low-tonnage ships it is required to increase the precision of the coordinates obtained through the GPS receiver. An ability to receive DGPS signals in the vicinity of a DGPS station does not result in a significant increase in the precision of determining the coordinates of the shipborne GPS receiver.

*Key words:* GPS-receiver, steady turning, ship's maneuvering characteristics.

Мероприятия по определению маневренных характеристик судов являются обязательными, а поэтому строго регламентируются международными и национальными документами [20–23]. Стандарты ИМО [20] требуют проведения натурных испытаний элементов поворотливости судов. Натурные испытания проводятся при оговоренных гидрометеорологических условиях, при достаточных глубинах под килем, а также выполняются с позиции достижения приемлемой точности измерений и точности результатов обработки получаемых данных. Неблагоприятные гидрометеорологические условия (сильный ветер, высокая волна, туман, дождь, плавающий лед, приливо-отливные явления) могут надолго отодвинуть выполнение испытаний. Пренебрежение течением, действующим в данный момент на акватории полигона, неизбежно приведет к погрешностям определения параметров поворотливости. Поэтому возникает проблема проведения испытаний в короткий срок с минимальными погрешностями и обработкой в реальном масштабе времени, чтобы успеть повторить неудачные пробеги.

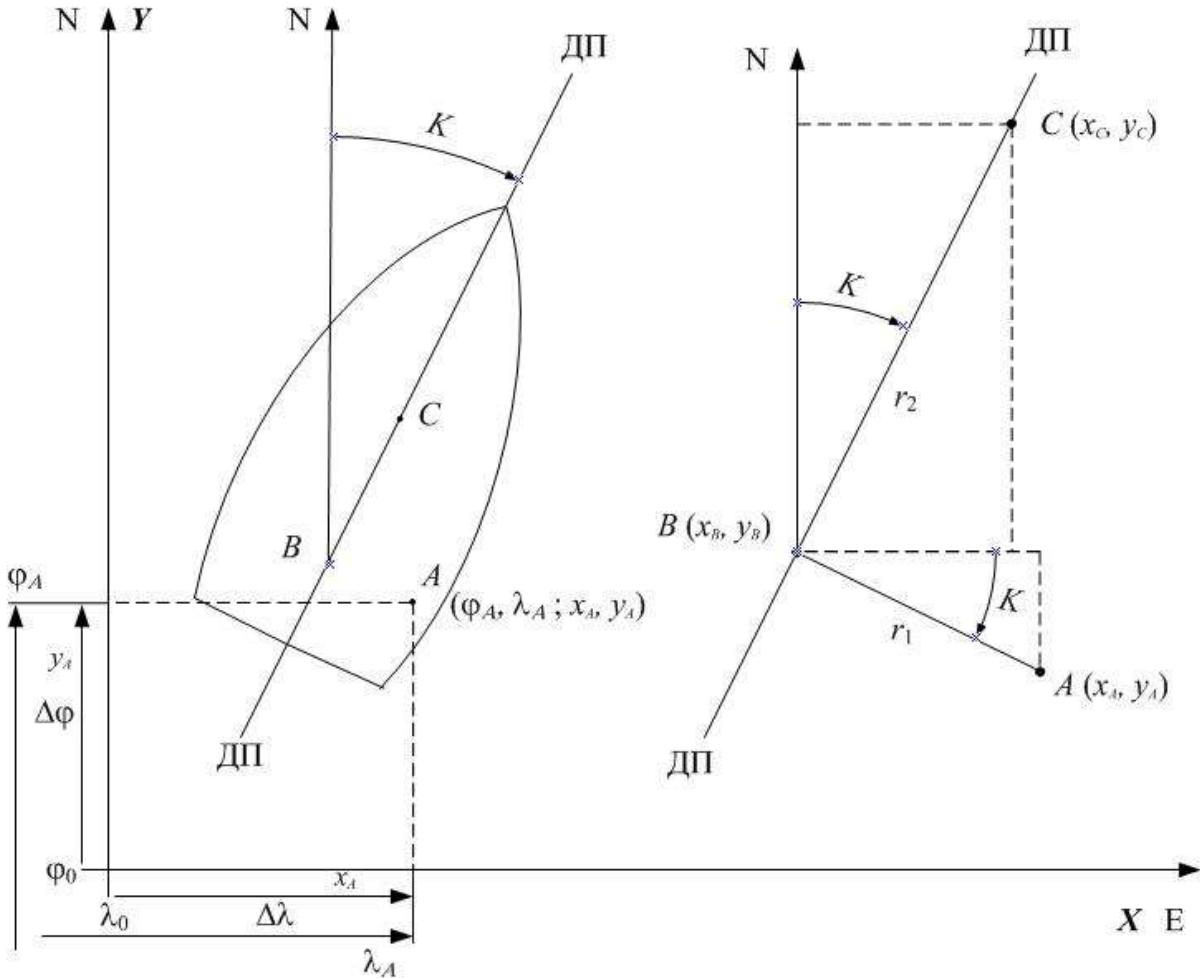
К началу 1990-х годов прошлого века для определения параметров поворотливости судна были разработаны и апробированы различные методы проведения натурных испытаний [1, 19]. Они основывались на использовании судовых радиолокационных станций (РЛС) либо на применении локальных специализированных импульсно-фазовых радионавигационных систем (РНС). К сожалению, все эти методы требовали привлечения большого числа специалистов и были крайне нетехнологичны. С появлением на судах приемников спутниковой радионавигационной системы (СРНС) Навстар GPS открылась перспектива выполнения в реальном масштабе времени высокоточных траекторных измерений. С помощью судовых GPS-приемников можно в автоматическом режиме непрерывно определять и записывать на жесткий диск подключаемого персонального компьютера текущие обсервованные координаты судна, параметры вектора его абсолютной скорости, метки времени, а затем обработать эти данные по заранее составленным программам без привлечения береговых специалистов [26, 27]. При этом точность получения координат гораздо выше точности РЛС и РНС. В работах [18, 24, 25] изложен подход к определению параметров маневренных характеристик судна через идентификацию постоянных математической модели по результатам траекторных измерений. В частности, в работе [18] предложен способ вычисления радиуса установившейся циркуляции и угловой скорости поворота в условиях действия ветра.

Цель предлагаемой статьи заключается в разработке способа вычислений радиуса установившейся циркуляции по данным траекторных измерений судового GPS-приемника при известном постоянном течении без учета математической модели динамики судна.

## Постановка задачи

В качестве точки, описывающей траекторию циркуляции, будем принимать так называемую среднюю точку судна, которая определяется документом [22]. В общем случае место установки антенны судового GPS-приемника не совпадает со средней точкой судна. Судовой приемник СРНС Навстар GPS определяет геодезические координаты (широту  $\phi$  и долготу  $\lambda$ ) места установки антенны. Широта и долгота являются угловыми величинами, используемыми в навигации. Радиус установившейся циркуляции, обратное смещение, тактический диаметр циркуляции, прямое смещение и выдвиг принято представлять в метрах

или в кабельтовых. Поэтому необходимо перейти от угловой меры представления координат к линейной мере, а координаты средней точки определять в плоской прямоугольной системе координат с одинаковыми масштабами вдоль осей. Для пояснения рассуждений обратимся к рис. 1.



**Рис. 1. Определение плоских координат средней точки судна**

Антенна бортового GPS-приемника чаще всего устанавливается не в диаметральной плоскости (ДП) судна. На рис. 1 место установки антенны обозначено буквой А. Пусть в некоторый момент времени приемник определил геодезическую широту антенны  $\phi_A$  и ее геодезическую долготу  $\lambda_A$ . Недостаток геодезической системы координат NOE заключается в том, что у нее линейные масштабы вдоль меридианов и вдоль параллелей не одинаковы. Чтобы перейти к плоской системе координат XOY с равными (или почти равными) масштабами, выберем точку с геодезическими координатами  $\phi_0$  и  $\lambda_0$  и примем ее за начало новой прямоугольной системы XOY, у которой ось абсцисс совпадает с параллелью и направлена на восток. Ось ординат совпадает с истинным меридианом и направлена на север. Начало координат выбирается из соображения близости к акватории, на которой предстоит провести натурные испытания. Переход от геодезических координат точки А ( $\phi_A, \lambda_A$ ) к плоским прямоугольным координатам ( $x_A, y_A$ ) осуществляется с помощью следующих формул:

$$x_A = \Delta\lambda \times l_p = (\lambda_A - \lambda_0) \times l_p, \quad y_A = \Delta\varphi \times l_m = (\varphi_A - \varphi_0) \times l_m,$$

где  $l_m$  и  $l_p$  – длины в метрах одной минуты меридиана и одной минуты параллели соответственно.

При использовании GPS-приемников чаще всего вычисления производят в системе геодезических координат WGS-84. В работе [17] были получены простые формулы (1) для высокоточных расчетов  $l_m$  и  $l_p$  для любой широты  $\varphi$ :

$$l_m = K_{11} - K_{22} \cos 2\varphi + K_{33} \cos 4\varphi, \quad l_p = [C_{11} - C_{22} \cos 2\varphi + C_{33} \cos 4\varphi] \cos \varphi. \quad (1)$$

Значения коэффициентов формул (1) выбираются из следующего списка:

### Коэффициенты для вычисления $l_m$ и $l_p$ на референц-эллипсоиде WGS-84 [17]

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

Отсюда прямоугольные координаты точки  $C$  могут быть вычислены по формулам (2).

$$\begin{aligned} x_B &= x_A + r_1 \cos(90^\circ + K) = x_A + r_1 \sin K, & y_B &= y_A + r_1 \sin(90^\circ + K) = y_A + r_1 \cos K; \\ x_C &= x_B + r_2 \sin K = x_A - r_1 \sin K + r_2 \sin K = x_A + (r_2 - r_1) \sin K; \\ y_C &= y_B + r_2 \sin K = y_A + r_1 \cos K + r_2 \cos K = y_A + (r_2 - r_1) \cos K. \end{aligned} \quad (2)$$

В формулах (2)  $r_1$  является отстоянием в метрах антенны судового GPS-приемника от ДП судна. На рис. 1 ему соответствует отрезок  $AB$ . Расстояние  $r_2$  является отстоянием в метрах точки  $B$  от средней точки судна  $C$ . Положение точки  $C$  определяется перед выходом на испытания. Таким образом, расстояния  $r_1$  и  $r_2$  могут быть определены с точностью не хуже 0,1 м.

### Решение задачи

Ветер и течение, действующие на полигоне, не дадут судну описать траекторию в виде окружности даже на установившейся циркуляции. Определить скорость ветра не представляет труда. Более сложной выступает проблема оперативного определения направления и скорости течения на акватории, где предполагается проведение натурных испытаний. Традиционный подход оценки элементов течения, основанный на применении гидрологической аппаратуры и специалистов-гидрографов, надо признать слишком затратным. Ранее автором данной статьи были разработаны различные способы определения направления и скорости течения с помощью судового GPS-приемника [3, 4; 8–11; 14]. Они позволяют за 15–20 мин до начала натурных испытаний определить направление течения с точностью не хуже  $\pm 5^\circ$  и скорость течения с точностью не хуже  $\pm 0,1$  узла ( $\pm 0,05$  м/с). Поэтому будем считать курс течения  $K_T$  и скорость течения  $V_T$  величинами известными. Устранить влияние течения можно исправлением координат точек траектории  $x_C$  и  $y_C$  так, как это показано на рис. 2.

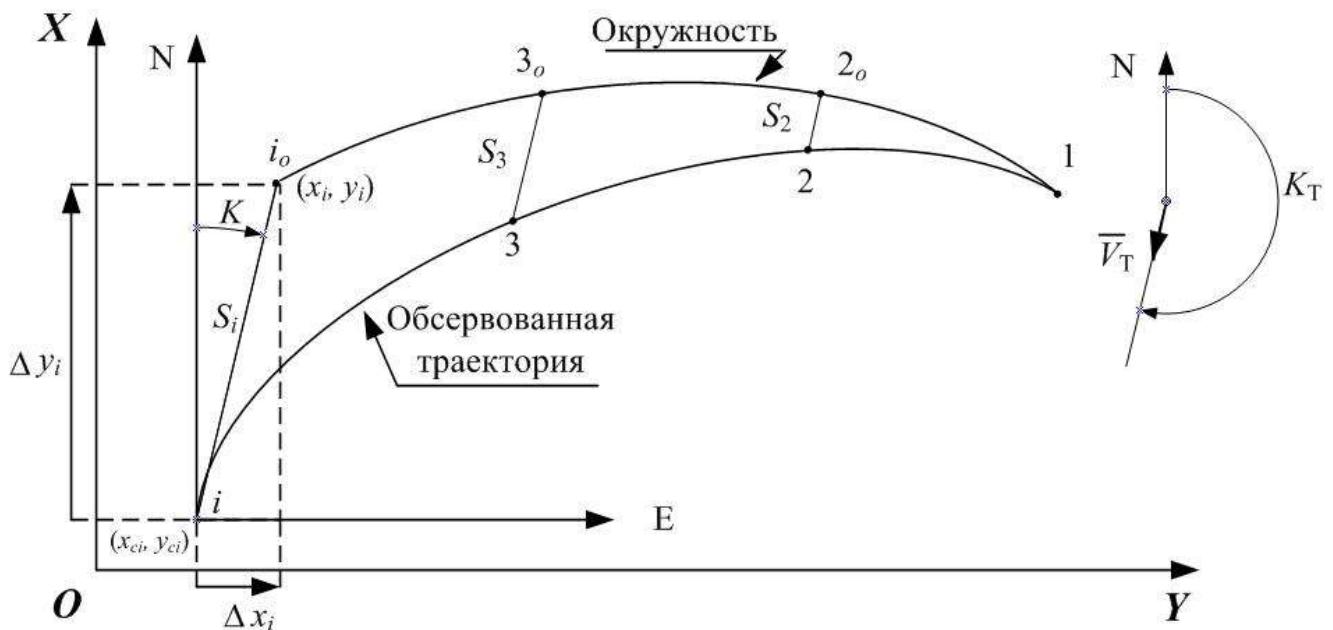


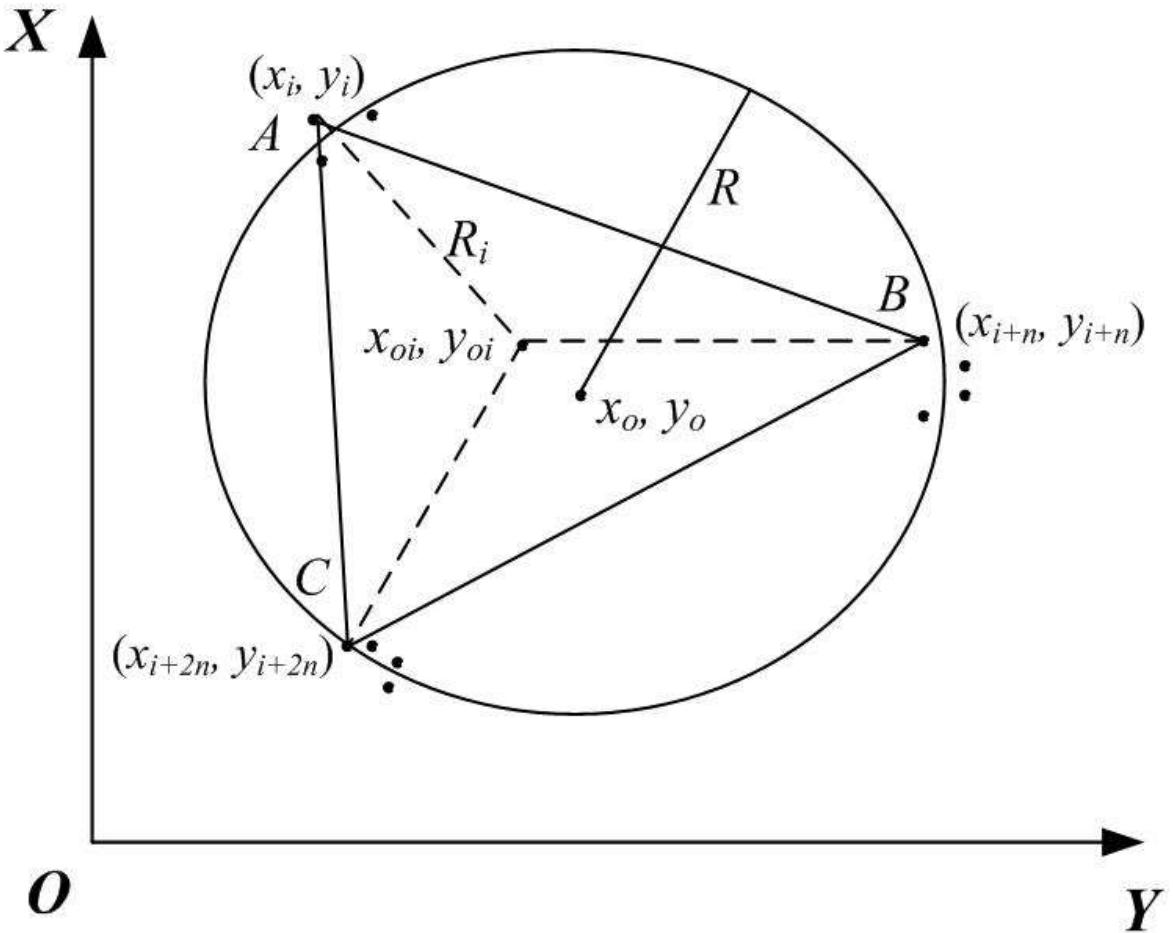
Рис. 2. Учет течения

Воздействие течения компенсируется переносом  $i$ -й обсервованной точки с координатами  $(x_{ci}, y_{ci})$  по направлению  $K$ , противоположному курсу течения,  $K = K_T \pm 180^\circ$ , на расстояние  $S$ ,  $S = \Delta S \times (i-1)$ , где  $\Delta S$  – элементарное расстояние, на которое перемещается средняя точка судна за выбранную продолжительность периода обновления информации (1, 5 и 10 с). Понятно, что в точке 1 рис. 2 окружность и обсервованная траектория еще совпадают, так как  $i = 1$ . Координаты искомой точки окружности  $(x_i, y_i)$ , которая соответствует  $i$ -й обсервованной точке, определяются как

$$x_i = x_{ci} + \Delta x = x_{ci} + S \sin K; \quad y_i = y_{ci} + \Delta y = y_{ci} + S \cos K. \quad (3)$$

В результате преобразований (3) появится массив координат  $x_i, y_i$  точек, принадлежащих окружности, радиус которой  $R$  и координаты центра которой  $(x_o, y_o)$  надлежит определить. В данной статье предлагается аналитический способ отыскания  $R, x_o$  и  $y_o$ . Чтобы пояснить суть предлагаемого способа, обратимся к рис. 3.

Выберем произвольную точку  $A$  с координатами  $x_i, y_i$ . Пусть  $n$  – треть количества обсервованных точек за время полной циркуляции судна. Тогда вторая точка  $B$  получит координаты  $x_{i+n}, y_{i+n}$ . Третья точка  $C$ , отстоящая приблизительно на равных расстояниях от точки  $A$  и от точки  $B$ , будет иметь координаты  $x_{i+2n}, y_{i+2n}$ . Соединим точки  $A, B$  и  $C$ . Получим треугольник, близкий к равностороннему. Найдем координаты  $x_{oi}, y_{oi}$  центра окружности, проходящей через вершины треугольника.



**Рис. 3. Вычисление радиуса и координат центра циркуляции судна**

Так как центр находится на одинаковом расстоянии  $R_i$  от вершин треугольника, то

$$2(x_{i+n} - x_i)x_{oi} + 2(y_{i+n} - y_i)y_{oi} = x_{i+n}^2 + y_{i+n}^2 - x_i^2 - y_i^2,$$

$$2(x_{i+2n} - x_i)x_{oi} + 2(y_{i+2n} - y_i)y_{oi} = x_{i+2n}^2 + y_{i+2n}^2 - x_i^2 - y_i^2.$$

После преобразований получим:

$$\begin{aligned} 2(x_{i+n} - x_i)x_{oi} + 2(y_{i+n} - y_i)y_{oi} &= x_{i+n}^2 + y_{i+n}^2 - x_i^2 - y_i^2, \\ 2(x_{i+2n} - x_i)x_{oi} + 2(y_{i+2n} - y_i)y_{oi} &= x_{i+2n}^2 + y_{i+2n}^2 - x_i^2 - y_i^2. \end{aligned} \quad (4)$$

Введем новые обозначения. Пусть

$$a_1 = 2(x_{i+n} - x_i), \quad b_1 = 2(y_{i+n} - y_i), \quad c_1 = x_{i+n}^2 + y_{i+n}^2 - x_i^2 - y_i^2,$$

$$a_2 = 2(x_{i+2n} - x_i), \quad b_2 = 2(y_{i+2n} - y_i), \quad c_2 = x_{i+2n}^2 + y_{i+2n}^2 - x_i^2 - y_i^2.$$

Тогда систему (4) можно записать в следующем виде:

$$\begin{cases} a_1 x_{oi} + b_1 y_{oi} = c_1, \\ a_2 x_{oi} + b_2 y_{oi} = c_2. \end{cases} \quad (5)$$

Полученная система (5) представляет собой систему двух линейных уравнений с двумя неизвестными. Корнями системы (5) будут координаты центра окружности, проходящей через вершины треугольника:

$$x_{oi} = \frac{c_1 b_2 - c_2 b_1}{a_1 b_2 - a_2 b_1}, \quad y_{oi} = \frac{a_1 c_2 - a_2 c_1}{a_1 b_2 - a_2 b_1}.$$

Вследствие влияния случайных погрешностей определения геодезических координат судна при движении его на циркуляции найденные координаты  $x_{O_i}$ ,  $y_{O_i}$  в общем случае не будут совпадать с искомыми координатами центра  $x_O$ ,  $y_O$ . Поэтому расстояния  $R_i$ ,  $R_{i+n}$ ,  $R_{i+2n}$ ,

$$R_i = \sqrt{(x_i - x_{oi})^2 + (y_i - y_{oi})^2}, R_{i+n} = \sqrt{(x_{i+n} - x_{oi})^2 + (y_{i+n} - y_{oi})^2}, R_{i+2n} = \sqrt{(x_{i+2n} - x_{oi})^2 + (y_{i+2n} - y_{oi})^2},$$

также следует рассматривать в качестве случайных величин.

Если переместить вершины треугольника в следующие обсервованные точки циркуляции, то можно получить новые координаты центра окружности, проходящей через вершины нового треугольника, а также новые три расстояния от центра до вершин. Последовательно задаваясь последующими обсервованными точками циркуляции, процесс вычислений следует завершить после того, как треугольник сделает полный оборот. В результате сформируется один массив данных, состоящий из  $3 \times n$  координат центров окружностей треугольников, и еще один массив, содержащий  $9 \times n$  значений расстояний до вершин. Так как исходные геодезические координаты судна  $\varphi_A$  и  $\lambda_A$  являются случайными величинами с унимодальными и почти симметричными плотностями распределения вероятностей [5, 6, 12, 13, 15, 16], то при  $3 \times n \rightarrow \infty$

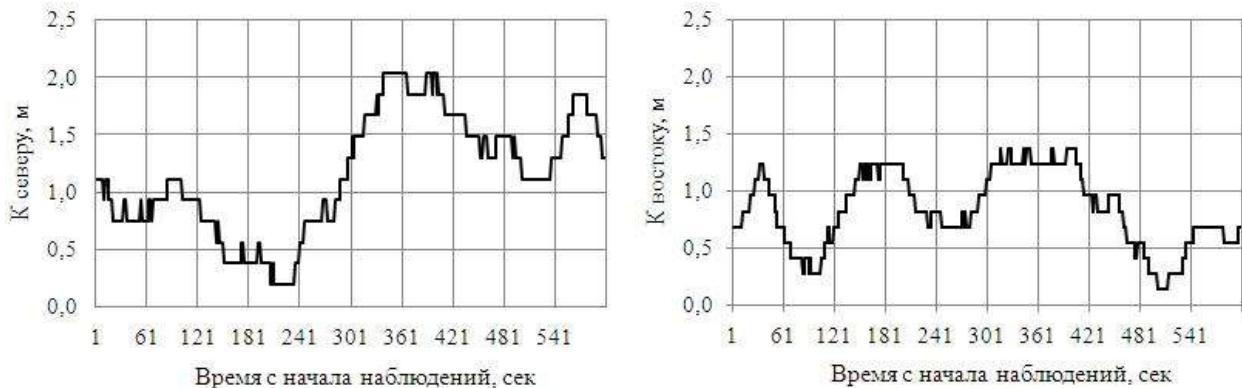
$$\frac{1}{3n} \sum_{i=1}^{3n} x_{io} \rightarrow x_o, \quad \frac{1}{3n} \sum_{i=1}^{3n} y_{io} \rightarrow y_o, \quad \frac{1}{9n} \sum_{i=1}^{9n} R_i \rightarrow R.$$

### Предварительная оценка точности

В заключение необходимо остановиться на точности предлагаемого способа определения параметров циркуляции. Как следует из изложенного материала, погрешности  $x_O$ ,  $y_O$  и  $R$  напрямую зависят от погрешностей определения широты и долготы судовым GPS-приемником. Результаты экспериментальных наблюдений за работой таких приемников разного типа позволили сделать вывод о том, что средняя квадратическая погрешность определения широты составляет порядка  $\pm 1,6$  м, а долготы –  $\pm 1,2$  м [5, 6, 12, 13, 15, 16]. Радиус циркуляции груженого балкера длиной 200 м доходит до 525 м. Следовательно, случайная погрешность определения радиуса циркуляции с помощью данных от GPS-приемника у такого судна составит 0,3%. При радиусах циркуляции, близких к 150 м, погрешность рассматриваемого способа достигнет 1%. Если же предстоят испытания маломерных судов, то потребуется увеличение точности определения геодезических координат судовыми GPS-приемниками. Особо остро эта проблема встает перед натурными испытаниями маневренных характеристик маломерных судов и особенно судов с новыми принципами динамического поддержания [2].

До недавнего времени в качестве одного из перспективных направлений повышения точности определения координат GPS-приемником принято было рассматривать использование сигналов дифференциальных (контрольно-корректирующих) станций [18]. Как показывают результаты экспериментальных наблюдений, выполненных автором данной статьи во Владивостоке и в Уссурийской астрофизической обсерватории ДВО РАН, на расстояниях более 60 миль до дифференциальной станции существенного прироста точности координат не происходит [15]. В октябре 2012 г. автором в течение 10 сут проводились непрерывные наблюдения за работой в дифференциальном режиме неподвижного судового GPS-приемника GP-37 на расстоянии 2,5 миль от дифференциальной станции мыса Поворотного. Из всего массива полученных данных были наугад взяты записи координат

через каждую секунду за 10 мин начиная с 19:21:00 UTC 19 октября. Затем по приведенным выше формулам были рассчитаны смещения в метрах к северу и к востоку, которые происходили в результате случайного дрейфа координат. Графики обнаруженного дрейфа координат представлены на рис. 4.



**Рис. 4. Дрейф координат GPS-приемника вблизи дифференциальной станции**

На левой панели рис. 4 видно изменение широты неподвижной антенны GPS-приемника GP-37. Размах варьирования широты за 10 мин наблюдений составил 1,85 м. При этом максимальное изменение широты произошло за 1,5 мин. Длгота за 10 мин изменялась на 1,23 м. Полная циркуляция крупнотоннажного судна длится до 12 мин. За это время случайный дрейф координат GPS-приемника может привести к ощутимому ухудшению точности параметров циркуляции судна. Следовательно, дифференциальные поправки не приводят к значительному уменьшению погрешностей координат даже вблизи дифференциальной станции. Поэтому с целью повышения точности геодезических координат при проведении натурных испытаний по определению маневренных качеств малых судов необходимо вернуться к технологии эргатических дифференциальных DGPS-подсистем [7].

Подведем итоги. Итак, предложенный способ, основанный на измерении судовым GPS-приемником геодезических координат точек траектории, прост и легко реализуем без дополнительного оборудования.

Способ не нуждается в разработке и идентификации математической модели движения судна на установившейся циркуляции.

Для повышения точности параметров маневренных характеристик малотоннажных судов требуется увеличение точности определения координат судовыми GPS-приемниками.

Прием дифференциальных поправок не приводит к значительному повышению точности определения координат судовыми GPS-приемниками.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авербах Н.В., Баранов Ю.К. Определение маневренных элементов морского судна и поправки лага. Л.: Морской транспорт, 1962. 74 с.
2. Азовцев А.И., Огай С.А., Москаленко О.В. Прорыв в области внедорожного амфибийного транспорта // Наука и транспорт: спецвыпуск. 2011. С. 48–50.

3. Комаровский Ю.А. Динамические способы определения вектора поверхностного течения с помощью приемника НАВСТАР GPS // Транспортное дело России: спецвыпуск. 2005. № 3. С. 22–26.
4. Комаровский Ю.А. Исследование и разработка динамических способов определения элементов поверхностных течений при утечках нефти // Национальная морская политика Российской Федерации на Дальнем Востоке: проблемы и пути обеспечения стратегических интересов государства в Мировом океане: материалы междунар. науч.-практ. конф., 16–17 дек. 2003 / Владивостокское морское собрание. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2003. С. 159–170.
5. Комаровский Ю.А. Исследование модели погрешностей определения места судна приемником СРНС НАВСТАР GPS // Транспортное дело России: специальный выпуск. 2004. № 2. С. 15–19.
6. Комаровский Ю.А. Исследование точности НАВСТАР GPS без режима избирательной доступности // Материалы регионального науч.-практ. семинара «Современные технологии судовождения на базе систем электронной картографии и спутниковой навигации». Владивосток: Дальневост. гос. мор. акад. им. адм. Г.И. Невельского, 2001. С. 83–92.
7. Комаровский Ю.А. Локальная эргатическая DGPS для мониторинга загрязнения моря: Материалы науч.-практ. семинара «Проблемы совершенствования системы борьбы с разливами нефти на Дальнем Востоке». Владивосток: Дальневост. гос. мор. акад. им. Г.И. Невельского, 1999. С. 42–46.
8. Комаровский Ю.А. Навигационные аспекты сопровождения пятна нефти // Морская экология-2002 (MOREC 2002): материалы междунар. науч.-практ. конф. Т. 2. Владивосток: МГУ, 2002. С. 21–34.
9. Комаровский Ю.А. Оперативный способ определения элементов течения при прогнозировании распространения нефтяных пятен // Проблемы совершенствования системы борьбы с разливами нефти на Дальнем Востоке: материалы регионального науч.-практ. семинара. Владивосток: ДВГМА, 1999. С. 46–51.
10. Комаровский Ю.А. Определение относительной скорости судна с помощью приемника СРНС Навстар GPS // М.: Транспортное дело России: специальный выпуск. 2006. № 7. С. 37–41.
11. Комаровский Ю.А. Определение элементов поверхностного течения способом нескольких галсов // Вестн. Мор. гос. ун-та. Сер. Судовождение. 2004. Вып. 2. С. 11–20.
12. Комаровский Ю.А. Оценка стационарности процесса получения обсервованных координат GPS-приемником SPR-1400 // Проблемы транспорта Дальнего Востока: материалы седьмой междунар. науч.-практ. конф. (FEBRAT-07), 3–5 окт. 2007. Владивосток: ДВО Российской Академии транспорта, 2007. С. 68–71.
13. Комаровский Ю.А. Оценка точности определения координат судовым GPS-приемником GP-270ML: материалы междунар. науч.-практ. конф. «Водные пути России: строительство, эксплуатация, управление». 1–2 окт. 2009. СПб.: ВПО СПГУВК, 2009. С. 85–89.
14. Комаровский Ю.А. Расчеты элементов течения способом трех галсов // Материалы пятой междунар. науч.-практ. конф. «Проблемы транспорта Дальнего Востока» (FEBRAT-03), 1–3 окт. 2003 / ДВО Российской Академии транспорта. Владивосток: МГУ им. адм. Г.И. Невельского, 2003. С. 268–273.
15. Комаровский Ю.А. Сравнительный анализ характеристик точности работы в дифференциальном режиме GPS-приемника J-NAV-500 // Проблемы транспорта Дальнего Востока: материалы восьмой междунар. науч.-практ. конф. (FEBRAT-09). 30 сент.–2 окт. 2009. Владивосток: ДВО Российской Академии транспорта, 2009. С. 79–82.
16. Комаровский Ю.А. Суточный ход поправок к координатам судового GPS-приемника GP-37 // Проблемы транспорта Дальнего Востока: материалы восьмой междунар. науч.-практ. конф.

- (FEBRAT-09). 30 сент.–2 окт. 2009. Владивосток: ДВО Российской Академии транспорта, 2009. С. 32–33.
17. Комаровский Ю.А. Точные вычисления пройденных расстояний на земных эллипсоидах // Современные проблемы развития и методики преподавания естественных и точных наук: материалы Всерос. науч.-практ. конф., 16–18 дек. 2009. Уссурийск: Изд-во УГПИ, 2009. С. 154–161.
18. Пашенцев С.В. Идентификация некоторых маневренных характеристик судна по результатам натурных испытаний // Вестн. Мурман. гос. ун-та. 2006. Т. 9, № 2. С. 246–252.
19. Правила определения маневренных элементов кораблей военно-морского флота (ПОМЭК-85). Л.: Главное управление навигации и океанографии Министерства обороны СССР, 1987. 199 с.
20. Резолюция ИМО Стандарты маневренных качеств судов MSC. 137(78). ИМО, 2002.
21. Руководство по определению маневренных характеристик судов внутреннего плавания (для Европейских внутренних водных путей). НД N 2-030101-028. СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2010. 28 с.
22. Руководство по определению маневренных характеристик судов. НД N 2-030101-007. СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2005. 16 с.
23. Циркуляционное письмо ИМО MSC/Circ.1053 Пояснения к стандартам маневренных качеств судна. ИМО, 5 дек. 2002.
24. Юдин Ю.И., Поздняков С.И. Маневренные характеристики судна как функция параметров его математической модели // Вестн. Мурман. гос. ун-та. 2006. Т. 9, № 2. С. 234–240.
25. Юдин И.Ю., Степахно А.Г., Гололобов А.Н. Использование идентифицированных математических моделей судна для обеспечения безопасности судовождения // Вестн. Мурман. гос. ун-та. 2009. Т. 12, № 1. С. 10–12.
26. Юдин Ю.И., Степахно Р.Г. Обработка результатов натурных испытаний с учетом траекторных наблюдений маневров // Вестн. Мурман. гос. ун-та. 2002. Т. 5, № 2. С. 213–218.
27. Юдин Ю.И., Юдин А.Ю. Использование судовой спутниковой навигационной аппаратуры СНС «Навстар GPS» для определения маневренных элементов судна и поправки лага. Мурманск: Изд-во Мурман. гос. техн. ун-та, 2003. 40 с. Деп. во ВНИЭРХ от 10.12.03 N 1398 рх 2003.