

УДК 656.61.052.484+629.5.072.4

**THE NAVIGATION DEVICE FOR CONVERTING THE
COORDINATES OF THE SATELLITE ANTENNA OF THE
VESSEL TO THE CENTER OF GRAVITY****НАВИГАЦИОННОЕ УСТРОЙСТВО ПЕРЕСЧЕТА
КООРДИНАТ СПУТНИКОВОЙ АНТЕННЫ СУДНА НА ЦЕНТР
ТЯЖЕСТИ**

V. Sokolenko, *graduate student*, **S.E. Maltsev**, *junior researcher*, **A.S. Maltsev**,
DSc, professor

В.И. Соколенко, *аспирант*, **С.Е. Мальцев**, *мл. научн. сотр.*, **А.С. Мальцев**,
д.т.н., проф.

National University "Odessa Maritime Academy", Ukraine.

ABSTRACT

Purpose: The implementation of naval operations for maneuvering vessels in constrained conditions is accompanied by external disturbances. In order to maintain the high operational characteristics of the control system in such difficult conditions is necessary to approach, the introduction of navigation support with decision-making devices. Unlike the applied overview-comparative method of traffic control, the use of navigation devices requires the automation of information processing processes and the adoption of decisions on the management of the vessel coming from their results. The creation of such systems requires further study of the maneuvering process and development of modern navigation devices.

Methods: One of the modern approaches to solving the problem is the creation of information support about the parameters of its condition, which are currently absent. Among such parameters is the information about the coordinates of the center of gravity. The method of solving such a problem is the synthesis of algorithms and calculation schemes for determining the coordinates of the center of gravity by the position of the satellite antenna.

Results: An algorithm is developed and a block diagram of the navigation device for calculating the corrections of the antenna coordinates for recalculation to the center of gravity of the vessel. The results of modeling can be used to designate a valid permissible distance of the shortest approach and to create an automated warning device for embankment.

Conclusions: The effectiveness of the proposed approach is confirmed by computational verification in full-scale conditions. The computational experiment performed showed its correctness when compared with the results of the full-scale experiment. The obtained results can be used on sea-going vessels to create navigation devices for information support for maneuvering and for training in maritime educational institutions.

Key words: algorithm for calculating corrections; high-precision coordinates of the center of gravity; decision support system; computational experiment; synthesis of the information system.

РЕФЕРАТ

Мета. Виконання морських операцій по маневруванню суден в умовах обмеженого простору супроводжується дією зовнішніх збурень і для збереження високих експлуатаційних характеристик системи управління в таких складних умовах необхідно використовувати підхід, заснований на впровадженні навігаційних пристроїв підтримки прийняття рішення. На відміну від використовуваного оглядово - порівняльного способу управління рухом, використання навігаційних пристроїв вимагає автоматизації процесів обробки інформації та прийняття за їх результатами рішень з управління судном. Створення таких систем вимагає подальшого дослідження процесу маневрування і розробки сучасних навігаційних пристроїв.

Методи. Одним із сучасних підходів до вирішення проблеми є створення інформаційного забезпечення про параметри його стану, які в даний час відсутні. Серед таких параметрів є інформація про координати центру ваги. Методом вирішення такого завдання є синтез алгоритмів і розрахункових схем визначення координат ЦТ по положенню супутникової антени.

Результати. Розроблено алгоритм і блок-схема навігаційного пристрою розрахунку поправок координат антени для перерахунку на центр ваги судна. Результати моделювання можуть бути використані для призначення обґрунтованої допустимої дистанції найкоротшого зближення і створення автоматизованого пристрою попередження посадки на міліну.

Висновки. Ефективність запропонованого підходу підтверджується розрахунковою перевіркою в натурних умовах. Виконаний обчислювальний експеримент показав його коректність при порівнянні з результатами натурального експерименту. Отримані результати можуть бути використані на морських судах для створення навігаційних пристроїв інформаційного забезпечення маневрування і при навчанні в морських навчальних закладах.

Ключові слова: алгоритм розрахунку поправок; високоточні координати центру ваги; система підтримки прийняття рішення; обчислювальний експеримент; синтез інформаційної системи.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами

Широкое внедрение информационных технологий обеспечения безопасности судоходства для целей маневрирования морского судна коренным образом изменило условия работы судоводителя. Это позволило меньшим количеством команды мостика крупнотоннажного судна эффективно и безопасно управлять его маневрированием. При этом используются современные навигационные устройства, которые позволяют обеспечивать информационную поддержку принятия решения при управлении процессом

движения судна по маршруту перехода. Наиболее эффективной судовой навигационной системой, которая изменила характер работы штурманского состава, является навигационная – информационная с электронной картой (ECDIS). Она позволяет кроме обычных функций бумажной карты обеспечить значительные преимущества по выполнению отдельных элементов штурманской работы по планированию безопасного маршрута перехода и функций поддержки принятия решения при управлении его движением и маневрированием.

Несмотря на значительное количество уже имеющихся функций развитие ECDIS продолжается. Оно происходит по направлению повышения точности планируемых навигационных задач и обеспечение параметрами о процессе управления морскими операциями, которые в настоящее время отсутствуют. Такая необходимость возникает при навигационном высокоточном планировании траектории в стесненных условиях при заходе в порт, швартовке и выходе из него, постановке на якорь и ряд других. Остановимся на двух задачах, которые требуют решения. При определении места судна спутниковыми системами получают координаты антенны приемника. При управлении и расхождении судов в стесненных условиях их положение принимается как материальная точка, находящаяся в центре тяжести, принимаемого на пересечении ДП и мидель шпангоута. При планировании траектории и управлении движением в таких условиях различие в координатах антенны и центра тяжести сказывается на безопасности. При этом поправка пересчета обладает свойством изменяться при маневрировании. Возникает парадокс, когда точность определения места достигает радиальной СКП 3-5 м при длине судна 320 метров, а из-за различия координат поправка на порядок выше. По этой причине исследование этого вопроса является актуальным.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

В работе [1] изложены основные сведения о судовых навигационных системах (НИС) и используемых в их составе электронных картах. Отмечается, что основными функциями НИС является: планирование траектории перехода и управление движением; управление изображением карт; предупреждение столкновений судов; организация поиска и спасения на море и ряд других. Для выполнения таких функций НИС использует данные от всех судовых навигационных устройств: гирокомпаса, лага, эхолота, РЛС, транспондера АИС, приемников спутниковых и береговых навигационных систем. Отмечается, что несмотря на значительное количество выполняемых функций, НИС не обеспечивают достаточную точность и полноту информации, которая необходима для поддержки принятия решений при управлении движением и маневрированием.

В работе [2] рассмотрена хронология формирования способа использования информации о параметрах маневрирования вообще и влиянии положения полюса поворота (ПП) на процесс управления судном. В ней

показано, что значение абсциссы ПП определяет ширину маневренного смещения, поэтому он может быть использован для нормирования параметров поворотливости. Ограничение максимального значения абсциссы ПП на циркуляции фактически позволит нормировать значение ширины полосы движения судна в зависимости от его главных размеров.

Кроме того, отмечается особенность параметра $X_{пп}$, которая проявляется в том, что при повороте судна абсцисса ПП достигает значения, соответствующего установившейся циркуляции данной кривизны, еще в начале эволюционного периода. Это дает возможность принимать в расчетах геометрических параметров поворота судна значение $X_{пп}$ для установившейся циркуляции данного радиуса. Приведены формализованные модели определения параметров криволинейного движения. Однако расчетные схемы и алгоритмы создания навигационных устройств, для определения положения ПП, не разработаны.

В работе [3] предложено устройство для предупреждения посадки судна на мель, которое выполняет планирование высокоточных координат траектории движения центра тяжести судов. Затем определяются координаты места установки приемной антенны, и возникает необходимость пересчета координат на центр тяжести. Однако устройство пересчета координат не предложено. В дальнейшем отслеживается характер изменения положения судна относительно запланированных безопасных точек. Если отклонение происходит больше чем допустимое, то необходимо производить корректировку движения. Применение указанной модели позволит избежать аварий, которые обусловлены неточным управлением движением судна, при маневрировании в стесненных условиях.

В работе [4] рассмотрен личный практический опыт капитана по управлению процессом маневрирования морского судна в виде содержательных моделей выполнения различных морских операций. При этом используется обзорно сравнительный способ информационного обеспечения процесса маневрирования и метод проб и ошибок для приобретения практических навыков работы. Формализованные модели управления процессом маневрирования не приведены.

В работах [5, 6] приведены содержательные модели использования информации о положении ПП при лоцманской проводке и маневрировании в стесненных условиях. Описаны способы учета данных о параметрах маневрирования, при отдаче команд по управлению судном. Приведена методика приобретения знаний о процессе маневрирования и формирования практического навыка по управлению судном в стесненных условиях и при использовании вспомогательных средств, включая буксиры.

В работах [7-10] рассмотрены навигационные устройства и системы высокоточного планирования заданной траектории движения, а в работе [11] приведена компьютерная программа «Система высокоточного планирования пути перехода морского судна».

Однако поправки к широте и долготе для координат спутниковой антенны при пересчете на центр тяжести существенно больше погрешности

определения места. Это не позволяет построить высокоточную систему бокового отклонения судна в стесненных условиях.

Формулирование целей статьи (постановка задачи)

Сохранение высоких эксплуатационных характеристик системы управления маневрированием в стесненных условиях плавания при ограниченной акватории для движения необходимо использовать высокоточные способы планирования траектории и определения положения центра тяжести судна. Поскольку существующие навигационные системы определяют положение судна в месте приемной антенны, то возникают погрешности, величина которых существенно больше точности определения места.

Для устранения указанного парадокса предлагается судно рассматривать в виде круга диаметром L_{\max} с центром тяжести на миделе. В этом случае возникает необходимость пересчета координат приемной спутниковой антенны на координаты центра тяжести (рис. 1). Необходимые сведения о L_{\max} и положении спутниковой антенны имеются в судовых документах.

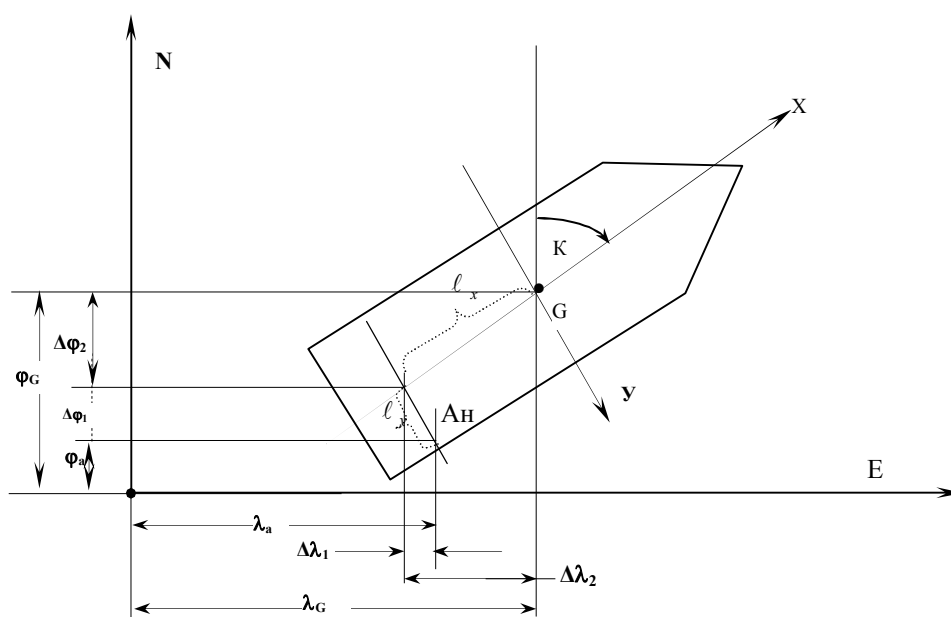


Рис. 1 Приведение observations к центру тяжести судна

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

Выполненный нами геометрический анализ алгоритма пересчета и динамики изменения курса при маневрировании показал, что погрешность пересчета координат не остается постоянной. Она изменяется от места расположения спутниковой антенны по отношению к центру тяжести, географических координат и курса, которым следует судно.

Координаты центра тяжести ϕ_G и λ_G рассчитываются по определенным спутниковой системой данным ϕ_a и λ_a при курсе K в пределах $0^\circ \leq K \leq 90^\circ$, с

учетом рис.1, и при условии $\varphi_a \geq 0, \lambda_a \geq 0$, по следующим зависимостям:

$$\varphi_G = \varphi_a + \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2 = \varphi_a + \Delta\varphi_G \text{ и } \lambda_G = \lambda_a - \Delta\lambda_1 + \Delta\lambda_2 = \lambda_a + \Delta\lambda_G, \quad (1)$$

где $\Delta\lambda_1$ - проекция расстояния точки приема антенны A_n от диаметральной плоскости l_y на ось λ , в милях; $\Delta\lambda_2$ - проекция расстояния точки расположения антенны l_x от центра тяжести (ЦТ) по ДП на ось λ , в милях; $\Delta\varphi_1$ - проекция расстояния точки приема антенны A_n от диаметральной плоскости l_y на ось φ , в милях; $\Delta\varphi_2$ - проекция расстояния точки расположения антенны l_x от ЦТ по ДП на ось φ , в милях; $\Delta\lambda_G$ и $\Delta\varphi_G$ - поправки координат ЦТ.

В развернутом виде уравнение (1) можно написать так:

$$\Delta\lambda_1 = l_y \cdot \cos K; \Delta\lambda_2 = l_x \cdot \sin K \quad (2)$$

$$\Delta\varphi_1 = l_y \cdot \sin K; \Delta\varphi_2 = l_x \cdot \cos K \quad (3)$$

Тогда, после подстановки (2) и (3) в (1) получим

$$\lambda_G = \lambda_a - l_y \cdot \cos K + l_x \cdot \sin K \quad (4)$$

$$\varphi_G = \varphi_a + l_y \cdot \sin K + l_x \cdot \cos K \quad (5)$$

Положение спутниковой антенны в судовом формуляре описывается проекциями места расположения антенны l_{ym} в метрах на судовую ось E и l_{xm} на ось N . При этом положительное значение проекции принято по оси Y со знаком плюс в сторону правого борта от центра тяжести и по оси X в сторону носа. Возможны четыре случая расположения антенны по отношению к центру тяжести: в сторону носа с правого борта; в сторону носа с левого борта; в сторону кормы с правого борта; в сторону кормы с левого борта. С учетом географических координат возможны 64 расчетных схемы, детальная блок-схема алгоритма которых, для случая рис. 1 расположения антенны справа по корме, при условии $\varphi_a \geq 0, \lambda_a \geq 0$ приведена на рис.2.

Исходными данными для пересчета координат будут:

1. Курс судна K в градусах;
2. Географическая широта приемной антенны φ_a ;
3. Географическая долгота приемной антенны λ_a ;
4. Координата проекции места антенны l_y на судовую ось Y , в милях.

Если в судовых документах приведены в м, то переводят в мили, $l_y = l_{ym} / 1852$;

5. Координата проекции места антенны l_x на судовую ось X в милях.

Если в судовых документах приведены в м, то переводят в мили, $l_x = l_{xm} / 1852$;

Расположение антенны относительно центра G на миделе будет описываться знаком проекции: слева по корме будет $-l_x$ и $-l_y$; справа по корме будет $+l_x$ и $+l_y$; слева по носу будет $+l_x$ и $-l_y$; справа по носу будет $-l_x$ и $+l_y$.

С учетом отсутствия необходимости детализации для оставшихся трех четвертей Земной поверхности, расчетная схема упростится и примет вид, как

показано на рис.3.

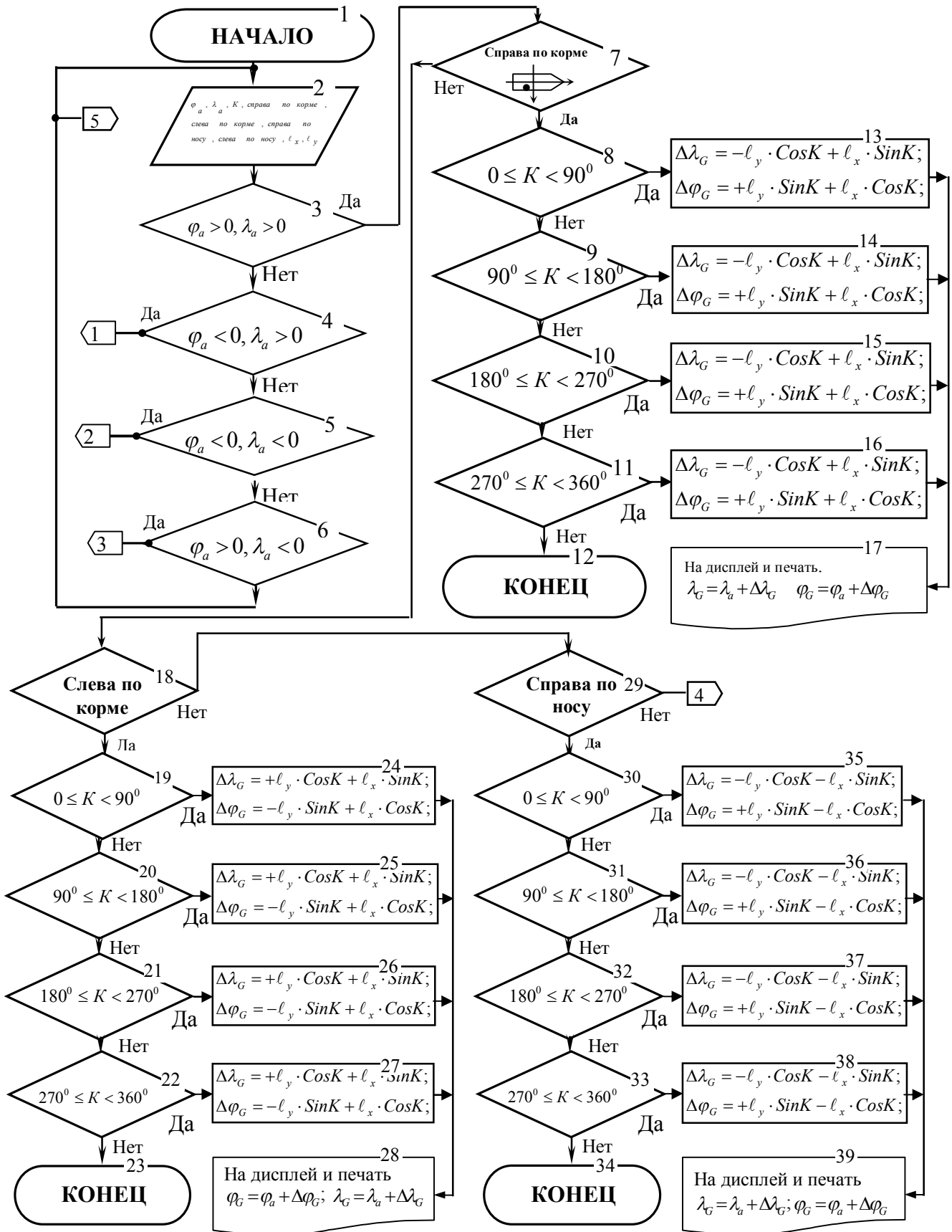
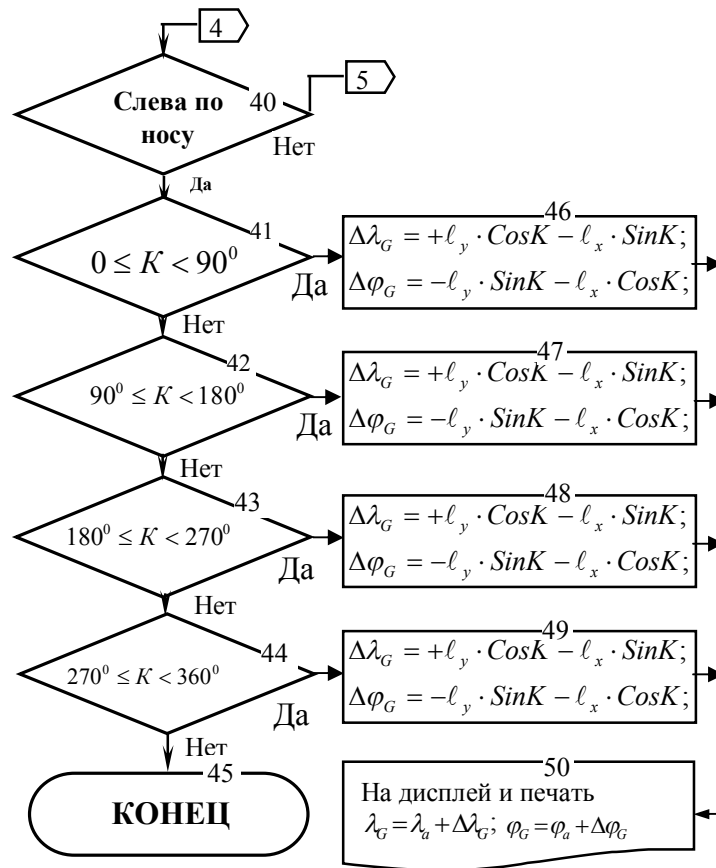


Рис. 2. Блок-схема алгоритма пересчета координат антенны на центр тяжести



Продолжение рис.2.

Приведенные расчетные схемы на рис.2 и 3 позволяют произвести расчет поправок для всех случаев пребывания судовой антенны, места пребывания судна и курса, которым оно следует. С учетом постоянного расположения спутниковой антенны объем вычислительной работы уменьшится в четыре раза до 16 вариантов для конкретного судна.

Другой особенностью поправок перерасчета на широту и долготу является тот факт, что их величина никогда не будет превышать половины длины судна. По этой причине сложение поправки необходимо производить с частью координат в минутах, расчет поправок производить до пятого знака минуты, а округление до четвертого. Для большей наглядности и проверки правильности работы программы приведем контрольный пример.

Пример. Определили место судна по спутниковой антенне:

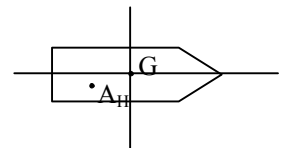
$$\varphi_a = 41^{\circ}25.3' N;$$

$$\lambda_a = 15^{\circ}21.5' E;$$

$$l_{xm} = 65 м; l_{ym} = 15 м; K = 30^{\circ}$$

$$\Rightarrow \varphi_G = ?$$

$$\lambda_G = ?$$



Антенна расположена справа по корме.

Дальнейший алгоритм пересчета следующий.

1. Произведем пересчет положения антенны на судне в мили:

$$l_y = l_{ym} / 1852 = 15 / 1852 = 0.0081 \text{ мили}; l_x = l_{xm} / 1852 = 65 / 1852 = 0.0351 \text{ мили}.$$

2. На рис.2 выберем блок 3, который соответствует условию $\varphi_a > 0, \lambda_a > 0$. По расположению антенны в блоке 7, и курсу в блоке 8, переходим к вычислению поправок в блоке 13 по формулам:

$$\Delta\lambda'_G = -l_y \cdot \cos K + l_x \cdot \sin K = -0.0081 \cdot \cos 30^\circ + 0.0351 \cdot \sin 30^\circ = 0.01054'$$

$$\Delta\varphi'_G = +l_y \cdot \sin K + l_x \cdot \cos K = 0.0081 \cdot \sin 30^\circ + 0.0351 \cdot \cos 30^\circ = 0.03525'$$

$$\varphi_G = 41^\circ 25.3' N + 0.03525' = 41^\circ 25.33525' N$$

$$\lambda_G = 15^\circ 21.5' E + 0.01054' = 15^\circ 21.51054' E$$

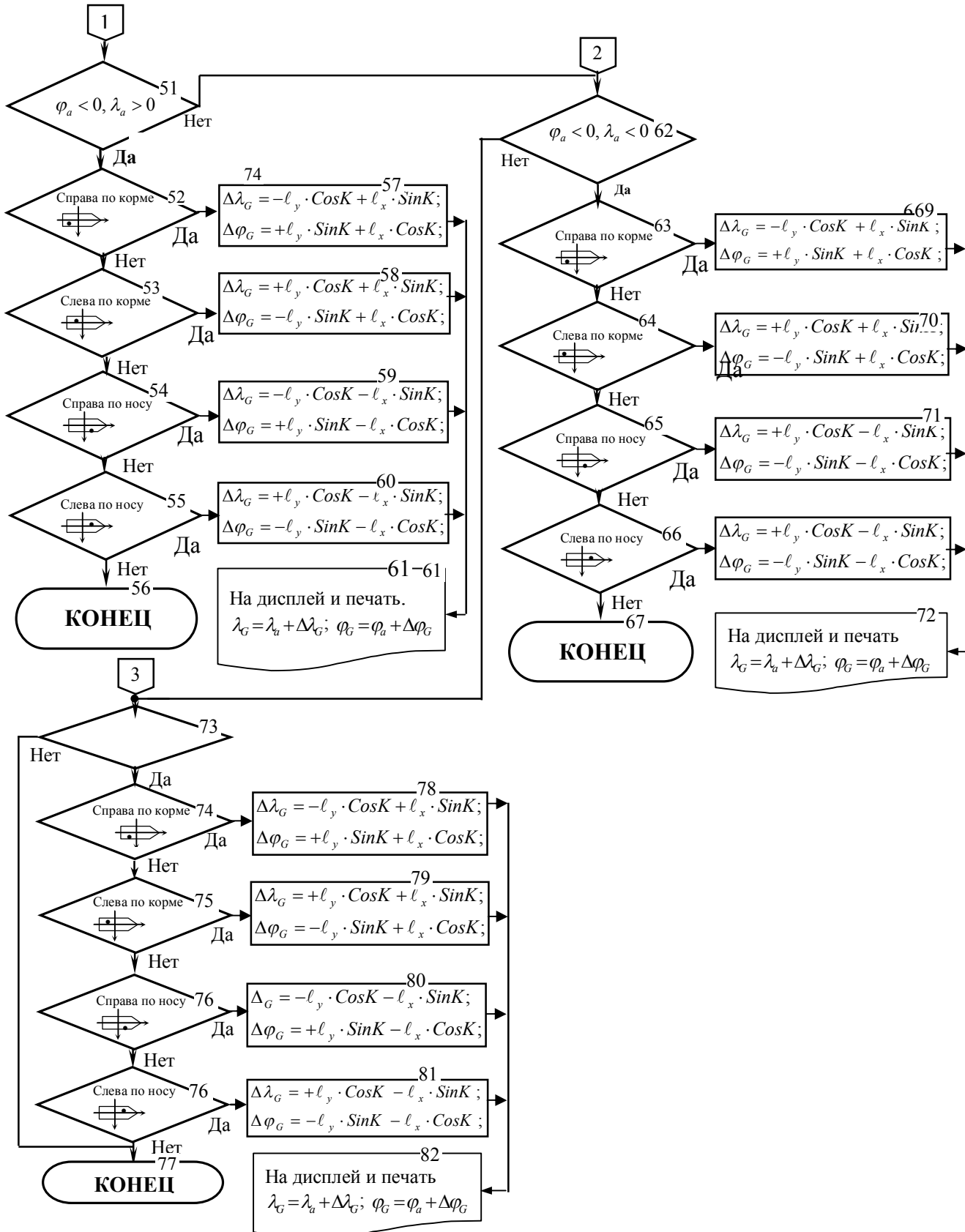


Рис.3. Блок-схема укрупненного алгоритма пересчета координат антенны

Полученные значения координат ЦТ используются при контроле движения судна в стесненных условиях и расхождении судов на небольших расстояниях, а также в автоматических системах предупреждения посадки судна на мель. При обосновании выдачи рекомендаций береговыми системами управления движением судов (СУДС) для принятия решения по расхождению необходимо представить судно как круг радиуса L_{\max} , при радиальной СКП оценки места $2 \cdot M_{\text{АИС}}$ судна в АИС и наследственных погрешностей $m_{D_{\text{кр АИС}}}$ расчета $D_{\text{кр}}$ (рис.4).

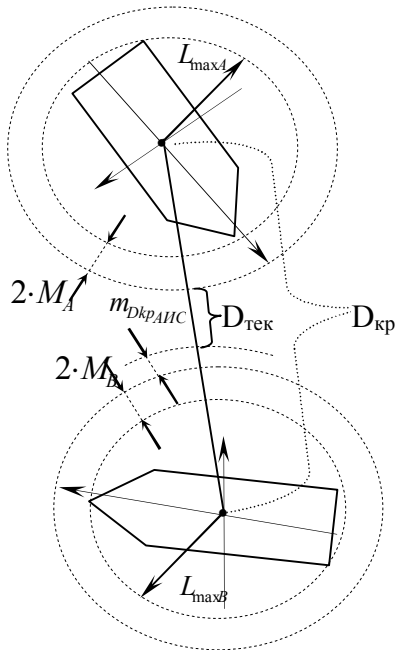


Рис. 4. Детализация наследственных ошибок от АИС

Составляющая $L_{\max A} / 2$ принимает значение $B_{\text{сА}} / 2$ при расхождении на параллельных курсах, когда акватории для маневрирования недостаточно. При расхождении пересекающимися курсами, ее величину следует принимать максимальной и равной $L_{\max} / 2$.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Составной частью выработки оптимальных решений в процессе управления движением судов в море являются расчеты, связанные с их маневрированием, которые необходимо решать в режиме реального времени. Увеличение числа современных судов, их водоизмещения и скоростей движения в водных акваториях при стесненных условиях плавания, требует ускорения процесса принятия решения по маневрированию, а в некоторых случаях экстренного выполнения маневра.

В сложившихся условиях перспективным направлением развития навигационного - управляющего оборудования становится создание интегрированных систем ориентации, навигации и принятия решения, обладающих высоким уровнем точности и автоматизацией выполняемых функций. При этом их возможности расширяются и могут дополняться

Для расчета допустимой дистанции кратчайшего сближения предлагается учитывать геометрические размеры судов, точность расчета параметров расхождения и относительный курс.

Как следует из рис.4 величина $D_{\text{зад АВ}}$ структурно представлена следующей зависимостью:

$$D_{\text{зад АВ}} = (L_{\max A} / 2) + 2 \cdot M_A + m_{D_{\text{кр АИС}}} + (L_{\max B} / 2) + 2 \cdot M_B + D_{\text{нз}}, \quad (6)$$

где $D_{\text{нз}}$ - величина навигационного запаса устанавливается в зависимости от ширины фарватера и в стесненных условиях составляет от 1 до 5 кбт. При расхождении в каналах она назначается в Обязательных постановлениях порта.

введением функций, связанных с поддержкой принятия решений по управлению судном.

Повышение точности определения места за счет пересчета координат позволит повысить безопасность расхождения судов за счет введения обоснованной допустимой дистанции сближения и создания автоматизированного устройства предупреждения посадки на мель. Выполнение расчетов вручную для предупреждения посадки на мель практически невозможно, а поправки пересчета координат на центр тяжести на порядок превышают погрешности определения места судна спутниковыми системами в дифференциальном режиме.

Результаты исследований могут быть использованы в учебном процессе морских учебных заведений и при создании навигационных устройств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вагущенко Л.Л. Судовые навигационно-информационные системы/ Л. Л. Вагущенко, А. Л. Вагущенко. - Одесса: НУ «ОМА», 2016. – 238.
2. Мальцев С.Э. Полюс поворота и его учет при маневрировании морского судна: монография/ С.Э.Мальцев, О.Н. Товстокорый. – Херсон. ХГМА, 2016. – 124 с.
3. Патент на корисну модель. Мальцев А.С., Ворохобін І.І., Соколенко В.І. Пристрій для попередження посадки судна на міліну. МПК (2011) G 08 G3/00. Рег. номер. U 2010 09828. Пріоритет від 10.03.2011 р.
4. Генри Г.Хойер. Управление судами при маневрировании. / Генри Г. Хойер. Перевод с английского. – М.: Транспорт, 1992 – 101 с.
5. G.Andy Chase. Sailing Vessel Handling and Seamanship-The Moving Pivot Point/ The Northern Mariner/Le Marin du nord, IX, No. 3 (July 1999), pp. 53-59.
6. Capt. Hugues Cauvier. The Pivot Point/ The PILOT №295. October 2008. The official organ of the United Kingdom Maritime Pilot Association.
7. Патент 91006 UA. МПК (2014.01) G08G 3/00. Пристрій для інформаційного забезпечення маневрування морського судна. /Голіков В.В., Мальцев С.Е. Заявник Одеська національна морська академія. - № u2013 04429; заявлено 25.04.2013; опубліковано 25.06.2014, Бюл. № 12.
8. Патент 97227 UA. МПК G08G 3/02 (2006.01), B63B 43/02 (2006.01). Пристрій для інформаційного забезпечення процесу управління судном. /Мальцев С.Е., Товстокорый О.М., Бень А. П. Заявник Херсонська державна морська академія. - № u2014 07280; заявлено 27.06.2014; опубліковано 10.03.2015, Бюл. № 5.
9. Патент 98720 UA. МПК (2015.01) B63B 21/00 Система інформаційного забезпечення швартування танкера VLCC до моно буя. / Деревянко А.А., Мальцев С.Е. Заявник Одеська національна морська академія. - № u2014

10883; заявлено 06.10.2014; опубліковано 12.05.2015, Бюл. № 9.

10. Патент 100293 UA. МПК G08G 3/00 (2015/01), Спосіб інформаційного забезпечення маневрування морського судна. / Товстокорий О.М., Мальцев С.Е., Бень А. П. Заявник Херсонська державна морська академія. - № и 2014 12711; заявлено 26.11.2014; опубліковано 27.07.2015, Бюл. № 14.
11. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №68552. Комп'ютерна програма «Система високоточного планування шляху переходу морського судна»/ Мальцев А.С., Бень А.П., Терещенкова О.В., Соколенко В.І. Заявник Херсонська державна морська академія. Дата реєстрації 09.11.2016.