



## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СУДОВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПРОКЛАДКИ ПУТИ СУДНА С УЧЕТОМ ВЕТРА И ТЕЧЕНИЯ

*Спешилов В.М., Степкова В.В.*

*Херсонская государственная морская академия*

*В статье изложены способы выполнения исполнительной навигационной прокладки пути судна с учетом ветра и морского течения на электронной карте при различных режимах работы судовой электронной картографической системы.*

*Ключевые слова: прямая и обратная задача по учету ветра и течения, аналитический учет ветра и течения, программное обеспечение решения задачи по учету ветра и течения.*

**Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важнейшими научными и практическими задачами.** Все системы управления подразделяются на 2 класса: детерминированные, работающие по жесткой программе, и недетерминированные системы, работа которых не обеспечена жесткой программой.

Использование автоматизированных информационно-управляющих систем (АИУС) в судовождении нельзя однозначно отнести к какому-либо одному из вышеизложенных классов. Это обусловлено тем, что управление судном состоит из множества элементов явно детерминированных, когда можно абсолютно точно сказать о том, что надо действовать так, а не иначе. Однако в этом процессе присутствует значительная часть недетерминированных элементов повышенной логической сложности и даже элементов интуиции и предвидения. В этой связи решение задачи по учету ветра и течения с использованием АИУС является детерминированным действием, но только в том случае, если электронная картографическая система (ЭНК) работает в режиме автоматического позиционирования, поскольку в этом режиме электронная линия пути судна с учетом ветра и течения прокладывается на дисплее ЭНК автоматически. Если же ЭНК работает в режиме счисления, то в программном обеспечении ЭНК [1, 2, 3, 4] не предусмотрено аналитическое решение задачи по учету ветра и течения. Судоводители имеют навыки графического решения этой задачи на бумажной морской навигационной карте путем сложения векторов скорости судна и скорости течения [5, 6, 7, 8]. Графическое сложение векторов на дисплее ЭНК не предусмотрено.

Наиболее актуальным является решение задачи по учету ветра и течения, когда необходимо проложить на дисплее ЭНК заданную линию пути судна с учетом ветрового дрейфа и дрейфа судна на течении и вычислить значение гирокомпасного курса судна для задания его рулевому. Решение этой задачи не предусмотрено в программном обеспечении ЭНК и произвести графическое решение этой задачи на дисплее ЭНК не представляется возможным.

Если ЭНК работает в режиме автоматического позиционирования [5-8], то вахтенный офицер решает задачу по учету ветра и течения методом проб и ошибок – интуитивно ложится на гирокомпасный курс, который с определенной долей вероятности определяет заданную траекторию движения судна с учетом ветра и течения. Насколько точно вахтенный офицер угадал гирокомпасный курс судна выясняется через 1-2 минуты после окончания поворота судна. Если траектория движения судна на дисплее не совпадает с заданной, то с учетом приобретенного опыта вахтенный офицер ложится на новый гирокомпасный курс и так до тех пор, пока электронная линия пути судна не будет соответствовать заданному направлению. Подобная практика вызывает эмоциональную неуравновешенность вахтенного офицера особенно при плавании в районе интенсивного судоходства и в стесненных районах.



**Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы, и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.** Решение задачи по учету течения в автоматическом режиме производится в счетно-решающем устройстве средства автоматической радиолокационной прокладки (САРП), если в этом типе САРП предусмотрен ручной ввод элементов течения. Однако решение задачи по учету течения счетно-решающим устройством средства автоматической радиолокационной прокладки не предусмотрено.

Если на авторулевом имеется система автоматического управления траекторией движения судна (САУТС), то задача по учету ветра и течения решается путем автоматического удержания судна на заданной траектории. Однако авторулевые с САУТС установлены не на всех судах. Кроме того, САУТС функционирует только в зоне действия систем GPS или ГЛОНАСС и может выйти из строя из-за какой-либо неисправности. В районе интенсивного судоходства и в стесненных районах плавания использование САУТС не всегда представляется возможным.

**Формулировка целей статьи.** Целью статьи является определение способов решения задачи по учету ветра и течения при выполнении исполнительной навигационной прокладки пути судна на электронной карте, если на авторулевом не установлена или неисправна система автоматического управления траекторией движения судна.

**Изложение основного материала.** При невозможности использования системы автоматического управления траекторией движения судна возникает необходимость аналитического решения задачи по учету ветра и течения с составлением программы вычисления гирокомпасного курса судна с помощью научного калькулятора.

Аналитическое решение задачи по учету ветра основано на формуле Н.Н. Матусевича по вычислению угла ветрового дрейфа судна:

$$\text{ГКК} = \text{ПУ}_\alpha - (\pm\alpha) - (\pm\Delta\text{ГК}) = \text{ПУ}_\alpha - \text{К} \left( \frac{W}{V_{\text{Л}} K_{\text{Л}}} \right)^2 \sin[\text{ПУ}_\alpha - \text{ГКВ} - (\pm\Delta\text{ГК})] - (\pm\Delta\text{ГК}), \quad (1)$$

где ГКК – гирокомпасный курс судна, который необходимо задать рулевому или выставить на авторулевом, чтобы судно шло по заданной линии путевого угла с учетом ветра в районе плавания (по заданной линии  $\text{ПУ}_\alpha$ );  $\text{ПУ}_\alpha$  – заданный путевой угол судна с учетом ветра в районе плавания;  $W$  – скорость кажущегося ветра, измеренная с помощью анемометра, уз;  $V_{\text{Л}}$  – скорость судна, измеренная с помощью относительного лага, уз;  $K_{\text{Л}}$  – коэффициент лага для действующего скоростного режима судна;  $\text{ГКВ}$  – гирокомпасное направление кажущегося ветра, измеренное с помощью флюгера;  $K$  – коэффициент, равный произведению радиана на коэффициент ветрового дрейфа судна, который вычисляется заранее для нескольких типовых вариантов загрузки судна:

$$K = 57.03 \cdot K_\alpha = 57.3 \left( 0.1\delta - \frac{0.5d}{L} \right) \sqrt{\frac{Q_y}{Ld}},$$

где  $K_\alpha$  – коэффициент ветрового дрейфа судна;  $\delta$  – коэффициент общей полноты водоизмещения судна;  $L$  – длина корпуса судна по действующую ватерлинию, м;  $Q_y$  – площадь парусности судна для данной осадки,  $\text{м}^2$ ;  $d$  – осадка судна, м.

Вычисление значения гирокомпасного курса судна согласно формуле (1) можно производить с помощью программы MS Excel. На рис. 1 отображен пример выполнения данной задачи в MS Excel.

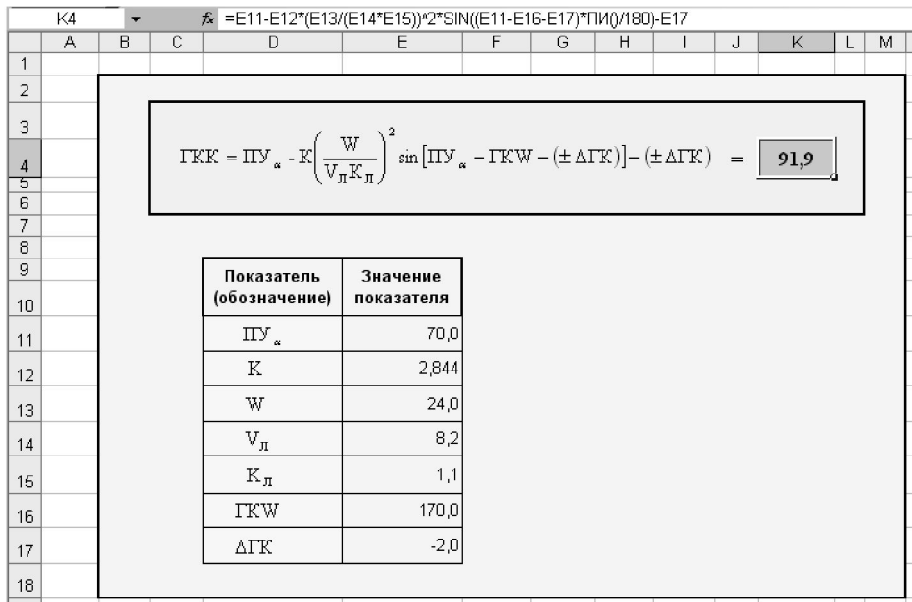


Рисунок 1 – Пример расчета ГКК согласно формуле (1)

Для дальнейших расчетов в MS Excel используются показатели, отображенные на рис. 2.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with a table titled "Исходные данные для расчетов:" (Initial data for calculations:). The table lists various parameters and their values:

Показатель (обозначение)	Значение показателя
ПУ <sub>α</sub>	
К	
W	
V <sub>л</sub>	
К <sub>л</sub>	
ГКW	
ΔГК	
ПУ <sub>β</sub>	
V <sub>т</sub>	
HT	
V <sub>пл</sub>	
ГКТ	
ПУ <sub>с</sub>	
ГКК	

Рисунок 2 – Таблица для ввода исходных данных в MS Excel

Вывод формулы для решения задачи по учету течения производится с помощью скоростного треугольника (рисунок 3), построение которого основано на том, что вектор скорости судна относительно воды  $\vec{V}_{ОВ}$ , который определяет истинный курс судна с учетом течения, получают путем вычитания вектора скорости течения  $\vec{V}_Т$  из вектора путевой скорости судна с учетом течения  $\vec{V}_β$ :

$$\vec{V}_{ОВ} = \vec{V}_β - \vec{V}_Т.$$

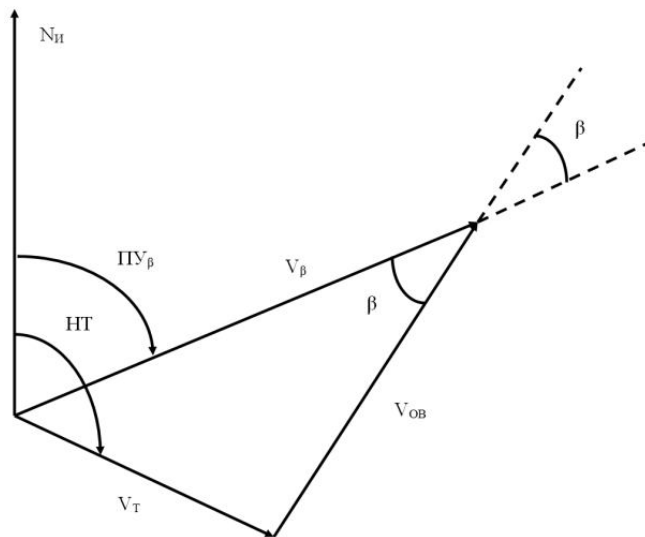


Рисунок 3 – Скоростной треугольник для решения задачи по учету течения

Согласно теореме синусов для косоугольного треугольника:

$$\frac{V_T}{\sin\beta} = \frac{V_{OB}}{\sin(HT-ПУ_\beta)} \rightarrow \sin\beta = \frac{V_T \sin(HT-ПУ_\beta)}{V_{OB}}, \quad (2)$$

где  $V_T$  – скорость течения, уз;  $V_{OB}$  – скорость судна относительно воды, которая равна произведению скорости судна, измеренной с помощью относительного лага  $V_L$ , на коэффициент лага  $K_L$  для действующего скоростного режима судна:  $V_{OB} = V_L K_L$ ;  $\beta$  – угол дрейфа судна на течения;  $HT$  – направление течения относительно истинного меридиана;  $ПУ_\beta$  – заданный путевой угол судна с учетом течения.

С учетом формулы (2) – гирокомпасный курс судна, который необходимо задать рулевому или выставить на авторулевом, чтобы судно шло по заданной линии  $ПУ_\beta$ , вычисляют по формуле:

$$\text{ГКК} = ПУ_\beta - \arcsin \frac{V_T}{V_L K_L} \sin(HT - ПУ_\beta) - (\pm \Delta \text{ГК}). \quad (3)$$

Если элементы течения вычислены с помощью счетно-решающего устройства средства автоматической радиолокационной прокладки САРП, то формула (3) приобретает следующий вид:

$$\text{ГКК} = ПУ_\beta - \arcsin \frac{V_{ТЛ}}{V_L} \sin[\text{ГКТ} + (\pm \Delta \text{ГК}) - ПУ_\beta] - (\pm \Delta \text{ГК}), \quad (4)$$

где ГКТ – направление течения относительно гирокомпасного меридиана, вычисленное счетно-решающим устройством САРП;  $V_{ТЛ}$  – скорость течения, вычисленная счетно-решающим устройством САРП по данным скорости судна, измеренной с помощью лага.

Вычисление значения гирокомпасного курса согласно формуле (3) в MS Excel будут выглядеть следующим образом:

$$=E18-ГРАДУСЫ(ASIN(E19/(E14*E15)))*SIN((E20-E18)*ПИ()/180)-E17.$$

Вычисление значения гирокомпасного курса согласно формуле (4) в MS Excel будут выглядеть следующим образом:

$$=E18-ГРАДУСЫ(ASIN(E21/E14))*SIN((E22+E17-E18)*ПИ()/180)-E17.$$



При совместном учете ветра и течения – гирокомпасный курс судна вычисляют по формуле:

$$\begin{aligned} \text{ГКК} = \text{ПУ}_c - (\pm\beta) - (\pm\alpha) - (\pm\Delta\text{ГК}) = \text{ПУ}_c - \arcsin \frac{V_T}{V_L K_L} \sin(\text{НТ} - \text{ПУ}_c) - \\ - K \left( \frac{W}{V_L K_L} \right)^2 \sin \left[ \text{ПУ}_c - \arcsin \frac{V_T}{V_L K_L} \sin(\text{НТ} - \text{ПУ}_c) - \text{ГКВ} - (\pm\Delta\text{ГК}) \right] - (\pm\Delta\text{ГК}). \end{aligned} \quad (5)$$

Если элементы течения вычислены с помощью счетно-решающего устройства САРП, то формула (5) приобретает следующий вид:

$$\begin{aligned} \text{ГКК} = \text{ПУ}_c - \arcsin \frac{V_{ТЛ}}{V_L} \sin [\text{ГКТ} + (\pm\Delta\text{ГК}) - \text{ПУ}_c] - K \left( \frac{W}{V_L K_L} \right)^2 \times \\ \times \sin \left\{ \text{ПУ}_c - \arcsin \frac{V_{ТЛ}}{V_L} \sin [\text{ГКТ} + (\pm\Delta\text{ГК}) - \text{ПУ}_c] - \text{ГКВ} - (\pm\Delta\text{ГК}) \right\} - (\pm\Delta\text{ГК}). \end{aligned} \quad (6)$$

Вычисление значения гирокомпасного курса согласно формуле (5) в MS Excel будут выглядеть следующим образом:

```
=E23-ГРАДУСЫ(ASIN(E19/(E14*E15)))*SIN((E20-E23)*ПИ()/180)-
E12*(E13/(E14*E15))^2*SIN((E23-ГРАДУСЫ(ASIN(E19/(E14*E15)))
*SIN((E20-E23)*ПИ()/180)-E16-E17)*ПИ()/180)-E17
```

Вычисление значения гирокомпасного курса согласно формуле (6) в MS Excel будут выглядеть следующим образом:

```
=E23-ГРАДУСЫ(ASIN(E21/E14))*SIN((E22+E17-E23)*ПИ()/180)-
E12*(E13/(E14*E15))^2*SIN((E23-ГРАДУСЫ(ASIN(E21/E14))
*SIN((E22+E17-E23)*ПИ()/180)-E16-E17)*ПИ()/180)-E17
```

Если судовая электронная картографическая система работает в режиме счисления пути судна, то для выполнения исполнительной навигационной прокладки пути судна с учетом течения необходимо знать скорость судна относительно морского дна (абсолютную скорость), которую можно измерить с помощью абсолютного лага. Если абсолютного лага на судне нет или он работает в режиме измерения скорости судна относительно воды, то абсолютную скорость судна необходимо вычислять по формуле, которую выводят с помощью скоростного треугольника на рисунке 4.

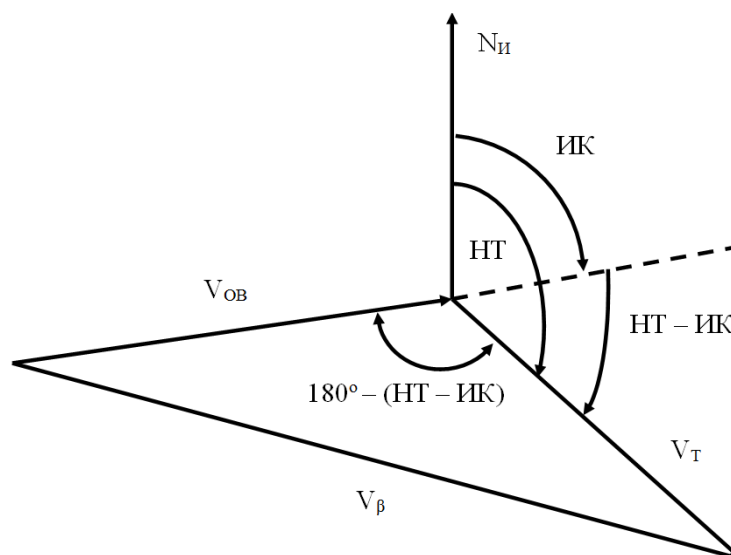


Рисунок 4 – Скоростной треугольник для вычисления абсолютной скорости судна



Согласно теореме косинусов для косоугольного треугольника:

$$V_{\beta}^2 = V_{OB}^2 + V_T^2 - 2V_{OB}V_T \cos[180^{\circ} - (\text{HT} - \text{ИК})] = V_{OB}^2 + V_T^2 + 2V_{OB}V_T \cos(\text{HT} - \text{ИК}). \quad (7)$$

Если все члены формулы (7) умножить и разделить на  $V_{OB}^2$  и затем  $V_{OB}^2$  вывести за скобки, то уравнение (7) приобретает следующий вид:

$$V_{\beta}^2 = V_{OB}^2 \left[ \left( \frac{V_T}{V_{OB}} \right)^2 + 1 + \frac{2V_T}{V_{OB}} \cos(\text{HT} - \text{ИК}) \right] \rightarrow V_{\beta} = V_{OB} \sqrt{\left( \frac{V_T}{V_{OB}} \right)^2 + 1 + \frac{2V_T}{V_{OB}} \cos(\text{HT} - \text{ИК})}. \quad (8)$$

С учетом того, что  $V_{OB} = V_L K_L$  и  $\text{ИК} = \text{ГКК} + (\pm \Delta \text{ГК})$ , формула (8) приобретает следующий вид:

$$V_{\beta} = V_L K_L \sqrt{\left( \frac{V_T}{V_L K_L} \right)^2 + 1 + \frac{2V_T}{V_L K_L} \cos[\text{HT} - \text{ГКК} - (\pm \Delta \text{ГК})]}. \quad (9)$$

Если элементы течения вычислены с помощью счетно-решающего устройства САРП, то формула (9) приобретает следующий вид:

$$V_{\beta} = V_L K_L \sqrt{\left( \frac{V_{ТЛ}}{V_L} \right)^2 + 1 + \frac{2V_{ТЛ}}{V_L} \cos(\text{ГКТ} - \text{ГКК})}. \quad (10)$$

Вычисление значения абсолютной скорости судна согласно формуле (9) в MS Excel будут выглядеть следующим образом:

=E14\*E15\*КОРЕНЬ((E19/(E14\*E15))^2+1+2\*E19/(E14\*E15)\*COS((E20-E24-E17)\*ПИ()/180))

Вычисление значения абсолютной скорости судна согласно формуле (10) в MS Excel будут выглядеть следующим образом:

=E14\*E15\*КОРЕНЬ((E21/E14)^2+1+2\*E21/E14\*COS((E22-E24)\*ПИ()/180))

При совместном учете ветра и течения угол между векторами  $\bar{V}_{OB}$  и  $\bar{V}_T$  равен  $180 - (\text{HT} - \text{ПУ}_{\alpha})$ . С учетом того, что  $\text{ПУ}_{\alpha} = \text{ГКК} + (\pm \Delta \text{ГК}) + (\pm \alpha)$  – формулы (9) и (10) приобретают следующий вид:

$$V_{\beta} = V_L K_L \sqrt{\left( \frac{V_T}{V_L K_L} \right)^2 + 1 + \frac{2V_T}{V_L K_L} \cos \left[ \text{HT} - \text{ГКК} - (\pm \Delta \text{ГК}) - K \left( \frac{W}{V_L K_L} \right)^2 \sin(\text{ГКК} - \text{ГКВ}) \right]}; \quad (11)$$

$$V_{\beta} = V_L K_L \sqrt{\left( \frac{V_{ТЛ}}{V_L} \right)^2 + 1 + \frac{2V_{ТЛ}}{V_L} \cos \left[ \text{ГКТ} - \text{ГКК} - K \left( \frac{W}{V_L K_L} \right)^2 \sin(\text{ГКК} - \text{ГКВ}) \right]}. \quad (12)$$

Вычисление значения абсолютной скорости судна согласно формуле (11) в MS Excel будут выглядеть следующим образом:

=E14\*E15\*КОРЕНЬ((E19/(E14\*E15))^2+1+2\*E19/(E14\*E15)\*COS((E20-E24-E17-E12\*(E13/(E14\*E15))^2\*SIN((E24-E16)\*ПИ()/180))\*ПИ()/180))

Вычисление значения абсолютной скорости судна согласно формуле (12) в MS Excel будут выглядеть следующим образом:

=E14\*E15\*КОРЕНЬ((E21/E14)^2+1+2\*E21/E14\*COS((E22-E24-E12\*(E13/(E14\*E15))^2\*SIN((E24-E16)\*ПИ()/180))\*ПИ()/180))



### **Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению.**

Предложенный в статье порядок вычисления гирокомпасного курса судна и абсолютной скорости судна при выполнении исполнительской навигационной прокладки пути судна с учетом ветра и течения на электронной карте создает предпосылки к разработке программного обеспечения судовых электронных картографических систем по отображению на дисплее электронной карты заданной линии пути судна с учетом ветра и течения при любом режиме работы судовой автоматизированной информационно-управляющей системы.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Дмитриев В. И. Навигация и лоция : учебник для ВУЗов / В. И. Дмитриев, В. Л. Григорян, В. А. Котенин. – М. : ИКЦ «Академкнига», 2004. – 471 с.
2. Мореходные таблицы 2000 г. (МТ-2000). – М. : изд. ГНУиО МО РФ.
3. Лесков М.М. Навигация : учебник [для ВУЗов морского транспорта] / М. М. Лесков, Ю. К. Баранов, М. И. Гаврюк. – М. : Транспорт, 1986. – 360 с.
4. Ющенко А. П. Навигация : учебник для вузов / А. П. Ющенко, М. М. Лесков. – М. : Транспорт, 1965. – 411 с.
5. Гагарский Д. А. Электронные картографические системы в современном судождении : учеб.-метод. Пособие / Д. А. Гагарский. – СПб. : Изд-во ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2007. – 124 с.
6. Вагущенко Л. Л. Судовые навигационно-информационные системы / Л. Л. Вагущенко. – Одесса : Фенікс, 2004. – 302 с.
7. Вагущенко Л. Л. Системы автоматического управления движением судна / Л. Л. Вагущенко, Н. Н. Цымбал. – Одесса : Латстар, 2002. – 310 с.
8. Вагущенко Л. Л. Судовые автоматизированные системы навигации / Л. Л. Вагущенко, А. М. Стафеев. – М. : Транспорт, 1989. – 157 с.

### **Спешилов В.М., Степкова В.В. ВИКОРИСТАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-УПРАВЛЯЮЧИХ СУДНОВИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПРОКЛАДКИ ШЛЯХУ СУДНА З УРАХУВАННЯМ ВІТРУ ТА ТЕЧІЇ**

*У статті викладені способи здійснення навігаційної прокладки шляху судна з урахуванням вітру та морської течії на електронній карті при різних режимах роботи судової електронної картографічної системи.*

*Ключові слова: задача з врахування вітру та течії, аналітичне врахування вітру і течії, програмне забезпечення вирішення задачі з врахування вітру та течії.*

### **Speshylov V.M., Stepkova V.V. THE USAGE OF AUTOMATIC INFORMATION-CONTROLLING SHIP SYSTEMS FOR NAVIGATIONAL PLOTTING WITH WIND AND CURRENT DRIFTS CALCULATION.**

*In this article you can see the ways to make executive navigational plotting with calculating wind and current drifts on electronic charts by different operating regime of ship's electronic chart system.*

*Key words: task of wind and current drifts, analytic calculating of wind and current drifts, the software for task calculating of wind and current drifts.*

Статтю прийнято  
до редакції 17.10.2013