

УДК 656.61.052

## АНАЛИЗ ВЕКТОРА СМЕЩЕНИЯ ПУТИ СУДНА ОТ ВЕТРА

Голиков В.В., Мальцев С.Э.

Одесская национальная морская академия

*Предложенный алгоритм определения связанных векторов сложного движения судна при счислении создает предпосылки к максимальному повышению информативности о процессе за счет детерминизации алгоритмов планирования траектории перемещения судов, включая их маневрирование.*

*Реализация и внедрение в практику штурманской работы векторного способа счисления и планирования пути в зависимости от возмущений повышает точность и информативность систем управления судном.*

*Рассмотренная блок-схема представляет интерес для построения навигационного устройства по маневрированию судна в стесненных условиях.*

*Ключевые слова: вектор смещения от ветра, сложное движение, информативность процесса счисления.*

**Постановка проблемы в общем виде.** Обычно счисление пути начинается с момента, когда судно вышло из порта и направляется в первую путевую точку. При отсутствии течения, ветра и волнения его линия пути совпадает с линией истинного курса (ИК). Смещение судна может происходить только за счет несимметричного рыскания и погрешности в оценке поправки компаса  $\Delta K$ . Под действием упора винта судно получает перемещение относительно воды по направлению ИК. Если водная поверхность подвижна относительно Земли, то скорость сложного движения судна определяется связанным вектором абсолютной скорости ( $\bar{V}_{\text{связ}}$ ) судна равным сумме векторов переносной (плановой)  $\bar{V}_0$  и относительной скорости  $\bar{V}_{\text{отн}}$  (векторами сноса ветром  $\bar{V}_{\text{ветр}}$ , течением  $\bar{V}_T$  и волнением  $\bar{V}_{\text{вол}}$ ).

При движении судна в условиях ветра, кроме бокового смещения, создается усилие вдоль ДП, увеличивая или уменьшая его переносную скорость. Эти изменения учитываются относительным лагом, поэтому отдельно этот факт не учитывают, а изменяют курс на величину угла ветрового дрейфа.

При векторном описании процесса движения и определении места судна относительно Земли такой подход приводит к погрешностям, которые в стесненных условиях и при плавании по каналам и фарватерам недопустимы. Требуется подход, при котором судоводитель сможет управлять процессом движения более точно и безаварийно.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Выполненный анализ аварийности в районе БДЛК и ХМК за последние 25 лет, результаты которого приведены в работах [1, 2], показал, что аварийные происшествя происходят из-за несогласованности параметров движения судна с ситуационной восприимчивостью судоводителя и отсутствия механизма своевременного счисления параметров заданного пути и отдачи команд на корректировку движения.

Известные способы [3] определения отклонения судна от линии заданного пути при плавании в стесненных условиях не информативны из-за множества причин вызвавших это отклонение и дефицита времени на принятие решения. Создается благоприятная ситуация для наступления аварийного события.

Основным способом повышения точности управления движением судна [4] является высокоточное планирование траектории по подробным данным о маневренных свойствах судна. Однако этот способ прогностического характера основан на эмпирике ограничительного характера и требует постоянных уточнений при счислении пути.

Предложения по созданию концепции системы управления судном содержатся в работе [5], однако алгоритмы и способы автоматизации обработки информации не

рассмотрены.

**Постановка задачи.** Целью данного исследования является повышение информативности процесса счисления пути судна путем использования кинематических законов сложного движения.

**Изложение материала исследования.** В системе координат судна  $XGY$  при появлении внешних ветровых возмущений в воздушном и водяном потоке надводная и подводная часть корпуса судна ведет себя, как крыло предельно малого удлинения, с двумя характерными свойствами. Точка приложения силы смещается к передней кромке по ходу движения, а ее направление стремится по нормали к поверхности (рис. 1). Характеристика влияния ветра на корпус судна определяется величинами скорости кажущегося ветра  $W$  и курсового угла  $q_w$ .

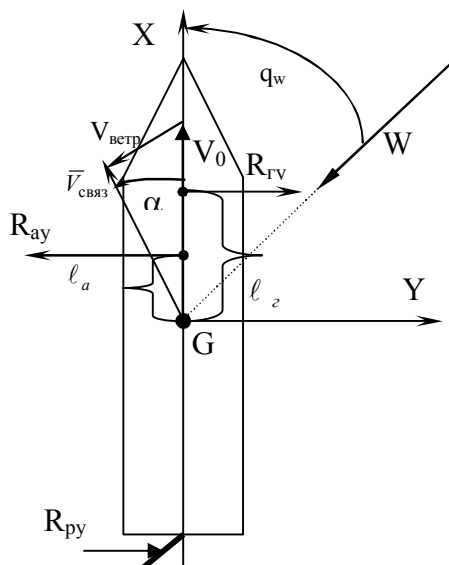


Рисунок 1 – Действие кажущегося ветра на судно

Под действием ветра происходит боковое (относительное) перемещение судна со скоростью  $\vec{V}_{\text{ветр}}$  за счет аэродинамической силы  $R_{ay}$  с плечом  $l_a$ . При этом возникает сложное движение с углом ветрового дрейфа  $\alpha$  и судно перемещается с абсолютной скоростью  $\vec{V}_{\text{связ}} = \vec{V}_0 + \vec{V}_{\text{ветр}}$ .

Плечо аэродинамической силы (в длинах корпуса) определяют по приближенной формуле К. К.Федяевского:

$$\bar{l}_a = 0,5 + \frac{l_{\text{цп}}}{L} - \frac{q_w^0}{360^0}, \quad (1)$$

где  $L$  – длина судна между перпендикулярами, м;  $l_{\text{цп}}$  – расстояние центра парусности (ЦП) от мидель-шпангоута, м;  $q_w^0$  – курсовой угол кажущегося ветра, в градусах.

В формуле (1) плечо аэродинамической силы имеет знак «+», если ЦП смещен в нос от миделя и знак «-» при его смещении в корму. Следует заметить, что расположение ЦП по длине судна зависит от размеров и расположения надстроек, дифферента судна и его осадки. Эти данные обычно рассчитывают при постройке судна, и они имеются в судовых документах.

Таким образом, на судно действует аэродинамическая сила, момент которой  $M_a = R_{ay} \cdot l_a$  стремится развернуть судно относительно вертикальной оси лагом к ветру и, который компенсируется рулем.

В работе [6] уравнение, пригодное для практического использования в автоматизированных системах и при расчете углов дрейфа на судне, предложено использовать в следующем виде:

$$\operatorname{tg} \alpha = -0,11 + \sqrt{0,0121 + K_{\alpha}^2 \cdot (W/V_0)^2 \cdot \sin q_w}, \quad (2)$$

где  $K_{\alpha}$  – коэффициент боковой силы, определяемой по формуле:

$$K_{\alpha} = (0,16 \delta_{оп} - 0,5 \cdot T_{cp} / L) \cdot \sqrt{S_H / S_{\Pi}}; \quad (3)$$

$\delta_{оп}$  – коэффициент общей полноты, отн.ед;  $T_{cp}$  – средняя осадка, м;  $S_H$  – площадь проекции надводной части корпуса судна на ДП, м<sup>2</sup>;  $S_{\Pi}$  – площадь проекции подводной части корпуса судна на ДП, м<sup>2</sup>.

При воздействии ветра возникает сопутствующее волнение, которое по направлению обычно совпадает с направлением ветра. Под действием волнения происходит дополнительное перемещение со скоростью  $\bar{V}_{вол}$  за счет гидродинамической силы  $R_{вол}$  с плечом  $\ell_{вол}$  [2].

По методике определения безразмерных коэффициентов волновых сил [7] по осям  $X (C_x^w)$ ,  $Y (C_y^w)$  и момента  $C_m^w$  используются следующие эмпирические зависимости:

$$C_x^w = 0,062 \cdot \frac{B}{T_{cp}} - 0,0085 \cdot \frac{L}{T_{cp}} + 0,328 \cdot \delta_{оп}, \quad (4)$$

$$C_y^w = 0,0823 \cdot \frac{L}{B} + 2,56 \cdot \frac{T_{cp}}{L} + 0,903 \cdot \delta_{оп}^2, \quad (5)$$

$$C_m^w = 0,15 \cdot \delta_{оп} + 0,197 \cdot \delta_{оп}^2 - 0,00373 \cdot \frac{L}{T_{cp}}, \quad (6)$$

где  $B$  – ширина судна. Эмпирические зависимости (4) – (6) справедливы при изменении главных размеров в следующих диапазонах:

- отношение длины к осадке  $10,0 < \frac{L}{T_{cp}} < 23,0$ ;
- отношение ширины к осадке  $1,0 < \frac{B}{T_{cp}} < 3,7$ ;
- отношение длины к ширине  $5,0 < \frac{L}{B} < 12,0$ ;
- коэффициент общей полноты  $0,6 < \delta_{оп} < 0,8$ .

Величины составляющих волновой силы  $X_w, Y_w$  и момента  $M_w$  при нерегулярном волнении определяются по частотному составу последовательности регулярных волн:

$$X_w = C_x^w \cdot (0,1 - \cos q_w) \cdot \rho \cdot g \cdot L \cdot \left(\frac{h_{3\%}}{2}\right)^2 \cdot e^{-A_0 \frac{\lambda}{L}} \cdot \left(1 + A_1 \frac{V_{вол}}{V_w}\right), \quad (7)$$

$$Y_w = C_y^w \cdot \sin q_w \cdot \rho \cdot g \cdot L \cdot \left(\frac{h_{3\%}}{2}\right)^2 \cdot e^{-A_0 \frac{\lambda}{L}} \cdot \left(1 + A_1 \frac{V_{вол}}{V_w}\right), \quad (8)$$

$$M_w = C_m^w \cdot \frac{\sin(2 \cdot q_w)}{1 + \frac{\pi - |q_w|}{\pi}} \cdot \rho \cdot g \cdot L^2 \cdot \left(\frac{h_{3\%}}{2}\right)^2 \cdot e^{-A_0 \frac{\lambda}{L}} \cdot \left(1 + A_1 \frac{V_{вол}}{V_w}\right), \quad (9)$$

где  $q_w$  – курсовой угол бега волн, град;  $A_0$  – эмпирический коэффициент, учитывающий соотношение длины волны и судна (рекомендуется принимать  $A_0 = 3,3$ );  $A_1$  – эмпирический коэффициент, учитывающий степень влияния скорости движения

судна на силы от волнения  $A_1 \in [1,0; 8,5]$ ;  $\lambda$  – длина регулярной волны;  $V_{\text{вол}}$  – составляющая скорости движения судна вдоль направления бега волн;  $V_w$  – скорость бега волн.

Величина плеча силы волновой природы  $\ell_{\text{вол}}$  определяется путем деления (9) на (8):

$$\ell_{\text{вол}} = \frac{C_m^w}{C_y^w} \cdot \frac{\sin(2q_w)}{2 - |q_w|/\pi} \cdot \sin q_w \cdot L. \quad (10)$$

Более точных зависимостей для определения вектора скорости сноса судна от волнения не обнаружено. В работе [2] приведена формула для расчета скорости дрейфа, однако ветровая и волновая составляющие в ней не разделены.

Скорость установившегося дрейфа судна определяется по эмпирической формуле:

$$V_{\text{др}} \approx K_{\text{др}} \cdot W_{\text{и}} = -0,014 + 0,049 \cdot W_{\text{и}}, \quad (11)$$

где  $V_{\text{др}}$  – скорость ветрового дрейфа, узлы;  $K_{\text{др}}$  – коэффициент дрейфа, определяемый из натурных наблюдений свободного дрейфа, для состояния конкретного судна в грузу или в балласте;  $W_{\text{и}}$  – скорость истинного ветра, м/с.

В мореходных таблицах МТ-2000 приведена эмпирическая зависимость  $V_{\text{др}} = 1,94 \cdot k_{\alpha} \cdot W_{\text{и}}$ , где  $V_{\text{др}}$  – суммарная скорость от ветрового дрейфа и волнения, узлы,  $k_{\alpha}$  – коэффициент ветрового дрейфа. Анализ последней формулы показывает на ее применимость в диапазоне  $W_{\text{и}} \in [3,0; 15 \text{ м/с}]$ .

В связи с отмеченным, предложен следующий алгоритм определения скорости совместного дрейфа от ветра и течения (рис. 2):

- шаг 1 – рассчитывают угол дрейфа  $\alpha$  по формуле (2);
- шаг 2 – определяют место судна, вектор  $\vec{V}_{\text{связ}}$  и величину угла сноса  $C$ ;
- шаг 3 – из навигационных пособий выбирают вектор течения  $\vec{V}_T$  и вычитают его из  $\vec{V}_{\text{связ}}$ , получая значение вектора  $\vec{V}_{\text{связ}1}$ ;
- шаг 4 – по значению  $\vec{V}_{\text{связ}1}$ ,  $\vec{V}_0$  и  $\alpha$  рассчитывают величину суммы векторов  $\vec{V}_{\text{вол}} + \vec{V}_{\text{ветр}}$ , значение которых необходимо для ведения счисления и планирования пути.

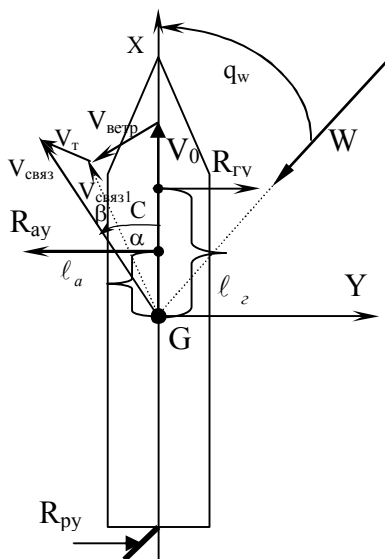


Рисунок 2 – Действие кажущегося ветра на судно

Блок-схема алгоритма автоматической оценки характера внешних воздействий приведена на рис. 3. Указанный алгоритм позволяет оперативно определять характер внешних воздействий на судно и учитывать их при планировании и управлении движением.

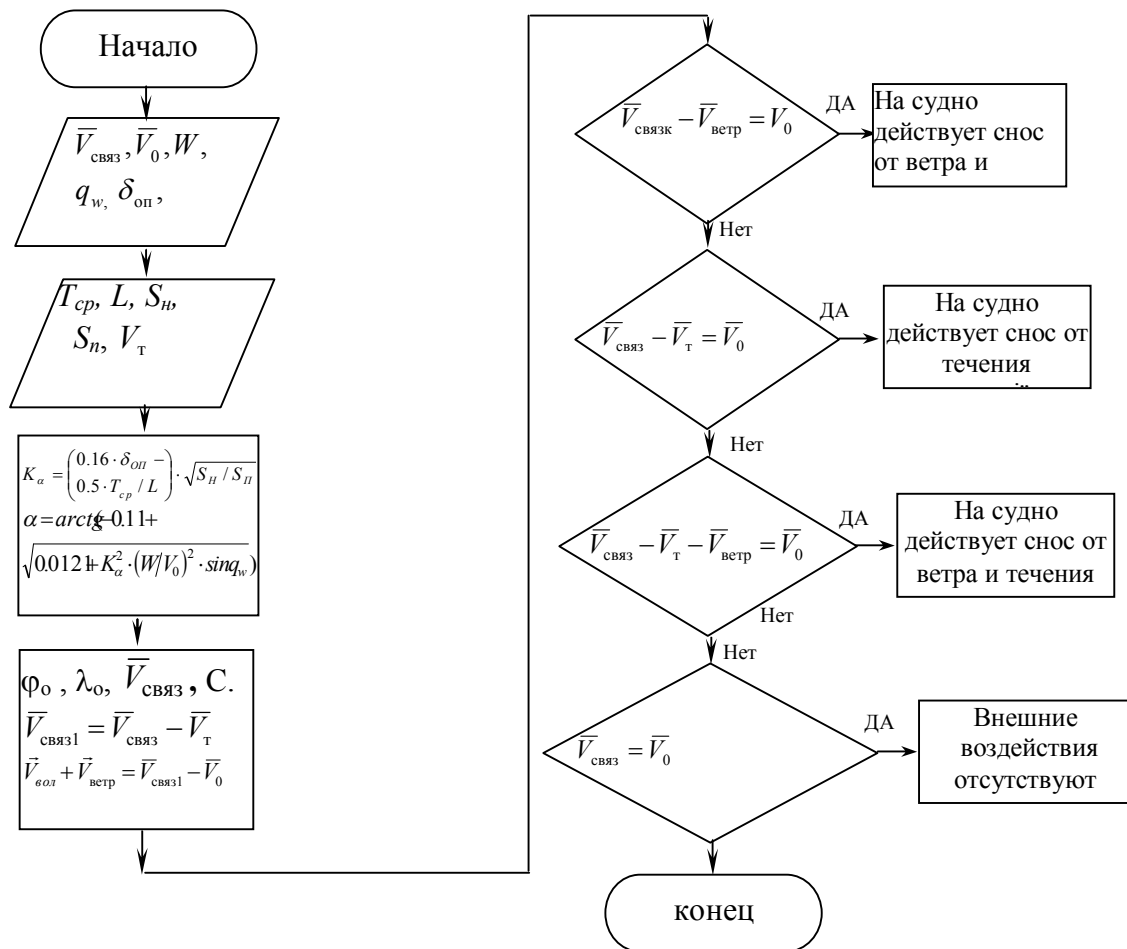


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма оценки характера внешних воздействий

### Выводы и предложения.

1. Предложенный способ определения векторов сложного движения судна в связанном виде наиболее достоверен и информативен, так как элементы векторов устанавливаются по натурным данным очередного счисления пути, а по результатам вычисления определяются не величина отклонения судна от заданного пути, а суммарный вектор фактического сноса судна.

2. Реализация и внедрение в практику штурманской работы векторного способа счисления пути позволяет на каждом этапе счисления вырабатывать управляющее воздействие адекватное возмущающим силам, что очень важно для системы управления судном, особенно задающих элементов

3. Предложенная блок-схема (рис. 3) может стать основой для выработки рекомендаций по маневрированию судна в стесненных условиях.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вильский Г. Б. Навигационная безопасность при лоцманской проводке судов / Г. Б. Вильский, А. С. Мальцев, В. В. Бездольный, Е. И. Гончаров / Под ред. А. С. Мальцева, Г. Б. Вильского. – Одесса-Николаев : Феникс, 2007. – 456 с.
2. Мальцев А. С. Методологические основы маневрирования судов при

сближении. [текст] / А. С. Мальцев, В. В. Голиков, И. В. Сафин, В. В. Мамонтов. – Одесса : ОНМА, 2013. – 218 с.

3. Баранов Ю. К. Навигация / Ю. К. Баранов, М. И. Гаврюк, В. А. Логиновский, Ю. А. Песков. – СПб. : Лань, 1997. – 512 с.

4. Maltsev A. S. The Ways of Enhancing the Safety of Navigation. / A. S. Maltsev // Thesis of the third General Assembly of IAMU. – USA, Rock port, 2002. – P. 16-26.

5. Система керування рухом суден: деклараційний патент на корисну модель № 5127 Україна, МПК 7 G08G7/00, B63B43/00 / Бездольний В.В., Романов Г.С., Гончаров Є.І., Вільський Г.Б., Мальцев А.С. (Україна), № 20040705479; заявл. 07.07.2004; опубл.15.02.2005, Бюл. № 2. – 5с.

6. Снопков В. И. Управление судном / В. И.Снопков // – Санкт-Петербург : АНО НПО «Профессионал», 2004. – 536 с.

7. Юрканский А. В. Исследование управляемости судов в условиях ветра и волнения: дис...канд. техн. наук.: 05.08.01. / Юрканский Александр Викторович – С.-Пет., 2005. – 118 с.

## REFERENCES

1. Viljskiyj G. B. Navigacionnaya bezopasnostj pri loemanskoj provodke sudov / G. B. Viljskiyj, A. S. Maljcev, V. V. Bezdoljnihyj, E. I. Goncharov / Pod red. A. S. Malj-ceva, G. B. Viljskogo. – Odessa-Nikolaev : Feniks, 2007. – 456 s.

2. Maljcev A. S. Metodologicheskie osnovih manevrirovaniya sudov pri sbliizenii. [tekst] / A. S. Maljcev, V. V. Golikov, I. V. Safin, V. V. Mamontov. – Odessa : ONMA, 2013. – 218 s.

3. Baranov Yu. K. Navigaciya / Yu. K. Baranov, M. I. Gavryuk, V. A. Loginovskiy, Yu. A. Peskov. – SPb. : Lanj, 1997. – 512 s.

4. Maltsev A. S. The Ways of Enhancing the Safety of Navigation. / A. S. Maltsev // Thesis of the third General Assembly of IAMU. – USA, Rock port, 2002. – P. 16-26.

5. Sistema keruvannya rukhom suden: deklaracijnij patent na korisnu modelj № 5127 Ukraїna, MPK 7 G08G7/00, V63V43/00 / Bezdoljniyj V.V., Romanov G.S., Goncharov Є.I., Viljskiyj G.B., Maljcev A.S. (Ukraina), № 20040705479; zayavl. 07.07.2004; opubl.15.02.2005, Byul. № 2. – 5s.

6. Snopkov V. I. Upravlenie sudnom / V. I. Snopkov // – Sankt-Peterburg : ANO NPO «Professional», 2004. – 536 s.

7. Yurkanskiyj A. V. Issledovanie upravlyaemosti sudov v usloviyakh vetra i volneniya: dis...kand. tekhn. nauk.: 05.08.01. / Yurkanskiyj Aleksandr Viktorovich – S.-Pet., 2005. – 118 s.

**Голиков В.В., Мальцев С.Е.** АНАЛІЗ ВЕКТОРУ ЗМІЩЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ СУДНА ВІД ВІТРУ  
*Запропонований алгоритм визначення пов'язаних векторів складного руху судна при численні створює передумови до максимального підвищення інформативності про процес за рахунок детермінологізації алгоритмів планування траєкторії переміщення суден, включаючи їх маневрування. Реалізація і впровадження є практикою штурманської роботи векторного способу числення і планування шляху залежно від обурень підвищує точність і інформативність систем управління судном. Розглянута блок-схема представляє інтерес для побудови навігаційного пристрою по маневруванню судна в обмежених умовах.*

**Ключові слова:** вектор зсуву від вітру, складний рух, інформативність процесу счислення.

**Golikov V.V., Maltsev C.E. ANALYSIS OF VECTOR OF DISPLACEMENT OUT OF WAY OF SHIP FROM WIND**

*The offered algorithm of determination of the constrained vectors of difficult motion of ship at numbering creates pre-conditions to the maximal increase of informing about a process due to determination algorithms of planning way, including their maneuverings. Realization and introduction in practice of navigator work of vectors method of numbering and planning of way depending on indignations promote exactness and informing of control system a ship. The considered flow-chart is of interest for the construction of informational navigation device on maneuverings of ship in straitened.*

**Keywords:** vector of displacement from wind, difficult motion, informing of process of numerable position.

© Голіков В.В., Мальцев С.Е.

Статтю прийнято  
до редакції 31.03.15