

## ВЛИЯНИЕ РЫСКАНИЯ СУДНА НА ЕГО БОКОВОЕ СМЕЩЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНО ЗАДАННОЙ ТРАЕКТОРИИ

*Алексишин А.В.*

*Одесская национальная морская академия*

*В статье выполнен анализ влияния рыскания судна на его боковое смещение и сделан вывод по его учету при расчете параметров зоны безопасности судна.*

*Ключевые слова: траектория движения судна, рыскание судна на курсе, формирование судовой безопасной зоны, боковое смещение судна.*

**Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими заданиями.** Проблема безопасного расхождения судов актуальна, требует обеспечения возможности лучшего понимания ситуаций, повышения качества принимаемых для предупреждения столкновений мер с учетом возможных факторов, которые влияют на траекторию движения судна.

**Анализ последних исследований и публикаций и выделение нерешенных задач проблемы.** Результаты многочисленных исследований, посвященных предупреждению столкновений судов, отражены в большом количестве публикаций. Они охарактеризованы в трудах [1-3]. В них основное внимание уделено математическому описанию проблемы, но не рассматриваются вопросы учета рыскания судна на курсе во время маневра и его влияние на формирование судовой безопасной зоны.

**Формулировка целей статьи.** При движении судов происходит их рыскание относительно программной траектории движения, что вызывает дополнительную боковую составляющую смещения судна. Произведем оценку величины максимального смещения судна из-за его рыскания с тем, чтобы сделать вывод о целесообразности учета этого фактора при возможной оценке параметров зоны безопасности судна.

**Изложение материалов исследования.** Предположим, что при движении судно совершает рыскания относительно программной траектории, что ведет к возникновению боковых смещений. Оценим максимальные значения величины бокового смещения, полагая, что рыскания судна  $\psi$  носят гармонический характер и могут быть описаны следующим аналитическим выражением:

$$\psi = \psi_0 \sin \omega_0 t,$$

где  $\psi_0$  и  $\omega_0$  – соответственно амплитуда и циклическая частота рысканий судна.

Боковое смещение судна  $d$  определяется ортогональной, относительно программной траектории, составляющей скорости судна, возникающей из-за его рысканий, т.е.  $V \sin \psi$ . Очевидно, что величина текущего значения бокового смещения  $d$  определяется выражением:

$$d = \int_0^t V \sin \psi d\tau = V \int_0^t \sin(\psi_0 \sin \omega_0 \tau) d\tau.$$

Учитывая, что амплитудные значения углов рыскания судов  $\psi_0$  в реальных условиях эксплуатации, как правило, не превосходят  $5-7^\circ$ , то  $\sin \psi$  можно заменить самим углом  $\psi$  в радианной мере. Поэтому:

$$d = V \psi_0 \int_0^t \sin \omega_0 \tau d\tau = -\frac{V \psi_0}{\omega_0} \cos \omega_0 \tau = \left|_0^t \frac{V \psi_0}{\omega_0} (1 - \cos \omega_0 t),\right.$$

или  $d = \frac{V\psi_0}{\omega_0}(1 - \cos \omega_0 t)$ . Анализ полученного выражения показывает, что при наличии

рыскания судна появляется постоянное боковое смещение  $\frac{V\psi_0}{\omega_0}$ , относительно которого

судно совершает симметричные гармоничные рыскания  $\frac{V\psi_0}{\omega_0} \cos \omega_0 t$  (рис. 1). Известно,

что выражение  $(1 - \cos \omega_0 t)$  можно представить в функции половинного аргумента, т.е.:

$$1 - \cos \omega_0 t = 2 \sin^2 \frac{\omega_0 t}{2}.$$

Следовательно, боковое смещение относительно заданной траектории при рыскании можно вычислить из формулы:

$$d = 2 \frac{V\psi_0}{\omega_0} \sin^2 \frac{\omega_0 t}{2}. \quad (1)$$

Таким образом, величина бокового смещения судна зависит от скорости судна, амплитудного значения угла рыскания, циклической частоты и текущего времени.

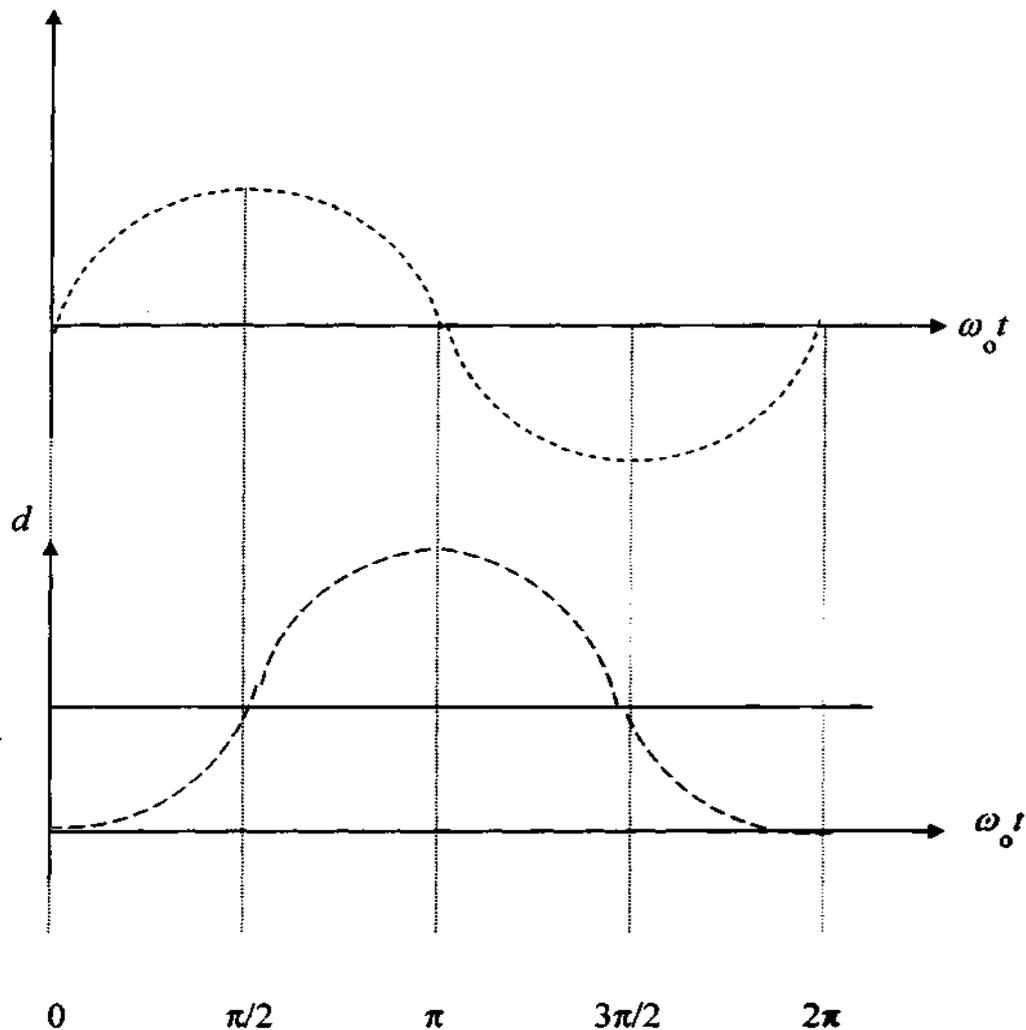


Рисунок 1 – Характер бокового смещения судна при рыскании

Найдем выражение для максимального значения бокового смещения  $d_{\max}$ , для чего найдем первую производную выражения (1) по времени:

$$\frac{\partial d}{\partial t} = 2 \frac{V\psi_0}{\omega_0} \sin \frac{\omega_0}{2} t \cos \frac{\omega_0}{2} t = \frac{V\psi_0}{\omega_0} \sin \omega_0 t.$$

Приравняем  $\frac{\partial d}{\partial t}$  к нулю и находим момент времени, при котором достигается максимум бокового смещения  $d_{\max}$ :

$$\frac{V\psi_0}{\omega_0} \sin \omega_0 t_m = 0, \text{ или, } \sin \omega_0 t_m = 0,$$

откуда  $t_m = \pi / \omega_0$ . Подставляя полученное выражение для  $t_m$  в формулу (1), получим зависимость для  $d_{\max}$ :

$$d_{\max} = 2 \frac{V\psi_0}{\omega_0} \sin^2 \frac{\omega_0}{2} t_m = 2 \frac{V\psi_0}{\omega_0} \sin^2 \frac{\omega_0}{2} \frac{\pi}{\omega_0},$$

или

$$d_{\max} = 2 \frac{V\psi_0}{\omega_0}. \tag{2}$$

Таблица 1 – Максимальное боковое смещение  $d_{\max}$  (м)

	T (с)										
Уз	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
10	3	5	6	8	10	11	13	14	16	18	19
12	4	6	8	10	12	13	15	17	19	21	23
14	4	7	9	11	13	16	18	20	22	25	27
16	5	8	10	13	15	18	20	23	26	28	31
18	6	9	12	14	17	20	23	26	29	32	35
20	6	10	13	16	19	22	26	29	32	35	38
22	7	11	14	18	21	25	28	32	35	39	42
24	8	12	15	19	23	27	31	35	38	42	46
26	8	12	17	21	25	29	33	37	42	46	50
28	9	13	18	22	27	31	36	40	45	49	54
30	10	14	19	24	29	34	38	43	48	53	58

Для оценки величины максимального значения бокового смещения  $d_{\max}$  в метрах необходимо формулу (2) записать в виде:

$$d_{\max} = 2 \frac{V\psi_0}{\omega_0}.$$

Оценка значения максимального бокового смещения производилась с помощью компьютера по формуле:

$$d_{\max} = 1,28 \frac{VT \psi_0}{360},$$

которая позволяла получить  $d_{\max}$  в метрах. При этом значение скорости  $V$  вводится в узлах, периода рысканий  $T$  – в секундах, а  $\psi_0$  – в градусах. Результаты расчета максимального бокового смещения  $d_{\max}$  для  $\psi_0 = 3^\circ$  представлены в табл. 1.

**Выводы и перспективы использования.** Анализ таблицы показывает, что значения максимального бокового смещения незначительны. Поэтому учитывать его при расчете параметров зоны безопасности не целесообразно.

Представленная работа снимает вопрос любых рассуждений и попыток использования элементов рыскания при формировании судовой зоны безопасности, а также более корректно оценивать точность относительных курсов при расхождении с целями.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мальцев А. С. Маневрирование судов при расхождении / А. С. Мальцев – Одесса : ОМТЦ, 2005. – 208 с.
2. Снопков В. И. Управление судном : Учебник для вузов / В. И. Снопков, С. И. Демин, Е. И. Жуков. – М. : Транспорт, 1991. – 359 с.
3. Цымбал Н. Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н. Н. Цымбал, И. А. Бурмака, Е. Е. Тюпиков – Одесса : КП ОГТ, 2007. – 424 с.

#### **Алексішин А.В.** ВПЛИВ РИСКАННЯ СУДНА НА ЙОГО БІЧНЕ ЗМІЩЕННЯ ВІДНОСНО ЗАДАНОЇ ТРАЄКТОРІЇ

*У статті виконаний аналіз впливу рискання судна на його бічне зміщення і зроблений висновок по його обліку при розрахунку параметрів зони безпеки судна.*

*Ключові слова: траєкторія руху судна, рискання судна на курсі, формування судової безпечної зони, бічне зміщення судна.*

#### **Aleksihin A.V.** INFLUENCE OF PROWLING OF SHIP ON HIS SIDELAY IN RELATION TO THE SET TRAJECTORY

*In the article while be analysis of influence of prowling of ship is executed on his side lay and drawn conclusion on his account at the calculation of parameters of area of safety of ship.*

*Keywords: trajectory of motion of ship, prowling of ship on a course, forming of ship safe area, sideway of ship.*