

УДК 656.61.052

DOI: 10.31653/2306-5761.29.219.55-65

DETERMINATION OF AN EVASIVE COMBINED Z-MANEUVER WITH A KNOWN BEGINNING**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО Z-МАНЕВРА РАСХОЖДЕНИЯ С ИЗВЕСТНЫМ НАЧАЛОМ**

L.L. Vagushchenko, *DSc, professor*, **J.N. Kozachenko**, *senior lecturer*, **O.A. Vdovichenko**, *engineer*

Л.Л. Вагущенко, *д.т.н., профессор*, **Ю.Н. Козаченко**, *ст. преподаватель*, **О.А. Вдовиченко**, *инженер*

National University "Odessa Maritime Academy", Ukraine
Национальный университет «Одесская Морская Академия», Украина

ABSTRACT

The method of determining of the combined Z-maneuver with a known start to avoid collisions with several ships is covered in the article. Three classes and 11 types of approaching of own vessel with a dangerous target are used when choosing maneuvers. These types are determined by the relative bearing and the aspect angle of the target. The domains of danger are formed at the targets when assessing the situation threat and maneuver searching. These domains have the shape of a circle. The center of domain is shifted of the target mass centre to bow on one third part of the domain radius. A two-dimensional spatial criterion is used to identify dangerous targets. Three phases (advance measures, permissible actions after the first phase, urgent actions for both vessels) are highlighted in the process of approaching of own ship with the dangerous target.

The requirements of the COLREG are taken into account by increasing the domain radius of the most dangerous target for maneuver variants, which according to these rules should be avoided. The dynamics of the own vessel in the forecasts of course or speed alterations are taken into account by using approximate formulas. These formulas are used for prediction of the "weak" and "average" joint course and speed changes also, on the assumption of their independence. In complex situations the course and speed maneuvers are determined on the diagram of safe velocity vectors. A method for calculating diagram taken into account the dynamics of own ship, as well as variants of this diagram used to choose evasive actions, are proposed in paper. It is possible for a given value of a speed/course change to define realms of zones of safe course/speed values and deviation of the route before returning to the previous elements of the movement.

The proposed method allows to simplify the selection of an effective variant of the combined Z-maneuver with obtaining information about the distance of deviation from the route in difficult situations. It is important in confined water areas. This method provides the ability to display a realm of zones of permissible maneuver variants and can be used in ECDIS in solving the tasks of ships collision prevention.

The reliability of the method was tested on examples of collision avoidance in various situations.

Keywords: collision avoidance, combined Z-maneuver, realm of zones of permissible maneuver variants.

РЕФЕРАТ

У статті висвітлюється метод визначення комбінованого Z-маневру з відомим початком для розходження з декількома суднами. У ньому при виборі маневрів використовується 3 типи і 11 видів зближення власного судна з небезпечною «ціллю». Ці види визначаються курсовим кутом і ракурсом «цілі». При оцінці безпеки ситуації та пошуку маневру домени безпеки утворювалися у «цілей». Вони мають форму кола, центр якого зміщений відносно центру маси «цілі» вперед по лінії її діаметральної площини на одну третю частину радіуса. Для виявлення небезпечних «цілей» використовується двовимірний просторовий критерій. У процесі зближення власного судна з небезпечною «ціллю» виділяються три фази: завчасних заходів, допустимих дій після першої фази, термінових дій для обох суден.

Вимоги МППЗС-72 враховувалися збільшенням домену найнебезпечнішої «цілі» для варіантів маневрів, які за цими правилами слід уникати. Урахування динаміки власного судна при прогнозі зміни курсу або швидкості виконувалось по наближених формулах. За ними же прогнозувалися «слабкі» і «середньої» сили спільні зміни курсу і швидкості в припущенні їх незалежності. У складних колізійних ситуаціях величини зміни курсу і швидкості визначалися по діаграмі безпечних векторів швидкостей. Запропоновано спосіб її розрахунку з урахуванням динаміки власного судна, а також варіанти її застосування при виборі маневрів у режимі діалогу з ЕКНІС. Передбачається можливість для зміни швидкості/курсу, що задається, визначати сімейства областей безпечних значень курсу/швидкості і відстаней слідування на ділянці ухилення перед поверненням до колишніх елементів руху.

Запропонований метод дозволяє в складних колізійних ситуаціях спростити вибір ефективного варіанту комбінованого Z-маневру з отриманням інформації про відстані відходу від маршруту, що важливо в обмежених водах. Він забезпечує можливість відображення сімейства зон допустимих варіантів маневру і може бути використаний в ЕКНІС при вирішенні завдань розходження з суднами. Достовірність методу перевірена на прикладах попередження зіткнень в різних ситуаціях.

Ключові слова: попередження зіткнень, комбінований Z-маневр, сімейства зон допустимих варіантів маневру.

Постановка проблемы и анализ публикаций, в которых начато ее решение, выделение нерешенных вопросов

Обеспечение высокого уровня безопасности расхождения судов остается актуальной проблемой в морском судовождении на протяжении уже

нескольких десятилетий. Одним из направлений ее разрешения является разработка методов выбора действий для избегания столкновений. По этому направлению имеется достаточно много публикаций, например, [2-6]. Однако ряд входящих в него задач, в частности, определение эффективных маневров расхождения (МР) в сложных коллизионных ситуациях, требуют развития более совершенных методов получения решений.

Формулировка целей статьи

Цель статьи - разработка для ЭКНИС метода выбора эффективных комбинированных Z-маневров (KZM) с известным началом для расхождения с несколькими судами.

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

Ниже *действием по избеганию столкновения* называется изменение курса (K) или скорости (V), либо K и V одновременно с началом в один момент времени, а *маневром расхождения* - одно или несколько последовательных действий. Рассматриваются здесь только коллизионные ситуации, которые не требуют для разрешения «сильных» маневров». Принято, что для уклонения от столкновения с «целью» (TS) повороты выполняются с кладкой руля 15^0 , V снижается с применением режима ЗМХ, а восстанавливается - с помощью ППХ. Если угроза чрезмерного сближения существует с несколькими «целями», то *самая опасная* из них (обозначим ее $\widehat{TS}$) имеет наименьшее значение ТСРА.

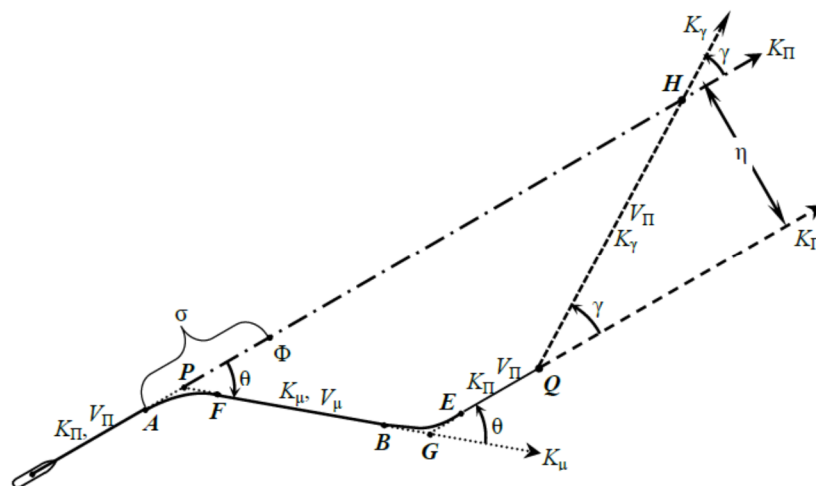


Рис. 1. Схема KZM

Схема KZM показана на рис. 1, где: $K_{П}$ и $V_{П}$ – курс и скорость ОС перед расхождением; P , G , Q и A , B и F , E – путевые, начала и конца изменения K и V точки; $K_{ц}$ и $V_{ц}$ – курс и скорость для уклонения от столкновения; Φ – точка конца интервала заблаговременных мер ОС по отношению к $\widehat{TS}$; γ – изменение K для возвращения к маршруту перехода после выполнения KZM. Основными параметрами KZM приняты: θ – угол поворота; ∇ – изменение скорости; η – боковое отклонение от маршрута следования; σ – расстояние от начала маневра до точки Φ . В частном случае, когда $\theta=0^0$ в KZM, считается, что его путевая

точка P совпадает с A , а точка G - с B . Путевую точку G назовем базовой, расстояние до нее от точки P обозначим ζ . Как можно заметить, после выполнения KZM OS не приходит на маршрут выполняемого перехода. Для этого нужен дополнительный маневр.

Охарактеризуем ряд факторов, учитываемых при выборе KZM.

Виды сближения OS с $\widehat{TS}$. Выделены 11 видов сближения OS с $\widehat{TS}$, которые определяются курсовым углом (q) и ракурсом (ρ) «цели» (табл.1, где $\Delta_0=6^\circ$). Названия ситуаций в таблице отвечают судам «на виду друг у друга» (МППСС-72), но применяются эти названия и для таких же по геометрии сближениям OS с $\widehat{TS}$ при ограниченной видимости.

Таблица 1 – Виды сближения OS с $\widehat{TS}$

Код	Вид сближения	Условие
S1. Ситуация «прямо друг на друга»		
S11	Прямо или почти прямо друг на друга	$ABS(\rho)<\Delta_0, ABS(q)<\Delta_0$
S2. Ситуация «пересечение курсов»		
S21	$\widehat{TS}$ справа впереди траверза OS	$\Delta_0 < q \leq 67.5^\circ$
S22	$\widehat{TS}$ слева впереди траверза OS	$-67.5^\circ \leq q < -\Delta_0$
S23	$\widehat{TS}$ справа на траверзе OS	$67.5^\circ < q \leq 112.5^\circ$
S24	$\widehat{TS}$ слева на траверзе OS	$-112.5^\circ \leq q < -67.5^\circ$
S3. Ситуация «обгон»		
S31	Обгоняемая $\widehat{TS}$ справа по носу OS	$\Delta_0 - 180^\circ < \rho \leq -112.5^\circ$
S32	Обгоняемая $\widehat{TS}$ слева по носу OS	$112.5^\circ < \rho \leq 180^\circ - \Delta_0$
S33	Обгоняемая $\widehat{TS}$ прямо по носу OS	$ABS(\rho) < 180^\circ - \Delta_0,$ $ABS(q) < \Delta_0$
S34	Обгоняющая $\widehat{TS}$ прямо по корме OS	$ABS(\rho) < \Delta_0,$ $ABS(q) < 180^\circ - \Delta_0$
S35	Обгоняющая $\widehat{TS}$ справа по корме OS	$112.5^\circ < q \leq 180^\circ - \Delta_0$
S36	Обгоняющая $\widehat{TS}$ слева по корме OS	$\Delta_0 - 180^\circ \leq q < -112.5^\circ$

Судовые домены опасности (SDD – ship's domain of danger) формируются у «целей». Они представляют собой круг. Его центр смещен от центра массы TS по линии ДП в сторону носа на $1/3$ часть радиуса $\hat{r}_j$ SDD, где j – номер «цели». Этот радиус включает три компоненты

$$\hat{r}_j = \hat{r}_w + \Delta_L + \Delta_\varepsilon; \quad (1)$$

где $\hat{r}_w$ – предел допустимых значений расстояния r_w между судами по свободной водной поверхности, отвечающий условиям плавания;

Δ_L и Δ_ε – поправки на размеры OS и TS_J и погрешность DCPA.

Поправки Δ_L и Δ_ε вычисляются по формулам, приведенным в [1]. Предполагается, что для разных акваторий с учетом интенсивности движения в них значения $\hat{r}_w$ будут установлены на основе опросов опытных судоводителей и помещены в памяти ЭКНИС.

Граница $\hat{\delta}_j$ опасных значений DCPA для TS_J находится по формуле

$$\hat{\delta}_j = \hat{\delta}_j(\rho_\delta) = \hat{r}_j(1 + \frac{1}{3} \cos \rho_\delta); \quad (2)$$

где ρ_δ – ракурс TS_J в момент кратчайшего сближения с OS.

Возникновение обязанности применения МППСС при сближении OS с TS_J определяется с помощью δ -с-критерия

$$\text{IF } \delta_j \leq \hat{\delta}_j \text{ AND } s_j \leq \hat{s} \text{ AND } \tau_j > 0 \text{ THEN «TS}_J \text{ is dangerous»}; \quad (3)$$

где δ_j , τ_j , s_j – DCPA, TCPA и дистанция (RCPA) по линии относительного движения OS до точки кратчайшего сближения с TS_J;

$\hat{s}$ – предел безопасных значений s_j .

Точка P_δ кратчайшего сближения с TS_J находится по координатам OS, K_Π , V_Π и расстоянию $S_\delta = V_\Pi \cdot \tau_j$. Граница $\hat{s}$ получается по формуле

$$\hat{s} \approx c_r c_d \sqrt{\hat{r}_w + L_0}; \quad (4)$$

где $c_r \approx 5,0$; $c_d = 1$ для ситуаций S1 и S2 (см. табл. 1), а для S3 – $c_d = 0,7$.

Три фазы (Ф1, Ф2, Ф3) сближения OS с $\widehat{TS}$ выделяются в работе (табл. 2). Начальные границы этих фаз на линии пути OS обозначаются Ψ , Φ , $\emptyset$.

Таблица 2. – Фазы сближения OS с $\widehat{TS}$

Фаза	Название фазы
Ф1	Заблаговременных мер (действий для GWV, сохранения K и V для SOV)
Ф2	Допустимых действий после Ф1 (запоздалых для GWV, возможных для SOV)
Ф3	Срочных действий для обоих судов

На пути OS относительно $\widehat{TS}$ дистанции от места OS в момент кратчайшего сближения с $\widehat{TS}$ до границ этих фаз находятся по формуле

$$s_i = c_i \cdot \hat{s}; \quad (5)$$

где $i = \Psi, \Phi, \emptyset$; $c_\Psi = 1,0$, $c_\Phi \approx 0,45$, $c_\emptyset \approx 0,25$.

Границы Ψ , Φ , $\emptyset$ получаются по координатам точки P_δ и расстояниям S_i от P_δ до этих границ

$$S_i = V_\Pi \cdot s_i / v_m; \quad (6)$$

где v_m – скорость OS относительно $\widehat{TS}$; m – номер $\widehat{TS}$; $i = \Psi, \Phi, \emptyset$.

В фазе Ф1 выбираются маневры для GWV, а в фазе Ф2 – для SOV.

Требования МППСС-72 при поиске KZM учитываются изменением радиуса $\hat{r}_m$ домена $\widehat{TS}$, для чего в формулу (1) добавляется коэффициент c_m

$$\hat{r}_m = c_m(\hat{r}_w + \Delta_L + \Delta_\varepsilon). \quad (7)$$

Для действий, которые согласно МППСС-72 следует избегать, радиус $\hat{r}_m$ домена $\widehat{TS}$ увеличивается в c_m раз (табл. 3). В остальных случаях он не изменяется ($c_m=1,0$).

Таблица 3. – Приближенные значения коэффициента c_m

Правило МППСС	Сближение		OS	Действие	c_m
	Вид	Фаза			
14	S11	Ф1	GWV	Поворот влево	10,0
15	S21, S23	Ф1	GWV	Пересечение курса $\widehat{TS}$ по носу	1,5
17	S22, S24	Ф2	SOV	Поворот влево	2,0
19	S21, S22	Ф1	GWV	Поворот влево	2,0
19	S22, S24, S35, S36	Ф1	GWV	Поворот в сторону $\widehat{TS}$	2,0

Учет динамики OS. Для прогноза изменения отдельно курса и скорости OS использовались приближенные формулы [1, 2]. С их же помощью прогнозировались «слабые» и «средней» силы одновременные изменения K и V в предположении, что они независимы.

Определение KZM с началом в точке A_z . Для упрощения пояснения предлагаемого метода принято, что SDD всех TS являются круговыми несмещенными с одинаковым радиусом $\hat{\delta}$. Перед поиском KZM задаются:

$\bar{\theta}, \bar{\theta}$ - пределы изменений курса влево и вправо;

$\bar{V}, \bar{V}$ - нижний и верхний пределы допустимой скорости;

$\bar{\eta}, \bar{\eta}$ - границы боковых отклонений влево и вправо от маршрута перехода;

$\bar{\sigma}, \bar{\sigma}$ – начальная и конечная границы интервала инициации KZM;

$\bar{\sigma}, \bar{\theta}, \bar{V}$ - предпочтительные для GWV расстояние σ и изменения K, V .

По умолчанию этим величинам (кроме $\bar{\eta}, \bar{\eta}$) можно присвоить значения, приведенные в табл. 4, где $V_{\text{ПМХ}}, V_{\text{ПСМХ}}$ – скорость полного маневренного и самого малого переднего хода OS; $S_{\text{ФП}}, S_{\text{ФО}}$ – расстояния от точки Ф до точек П и О соответственно. Для SOV значения $\bar{\sigma}, \bar{\theta}, \bar{V}$ увеличиваются в полтора раза. Границами $\bar{\eta}, \bar{\eta}$ являются расстояния от активного отрезка маршрута до параллельных ему линий, отсекающих навигационные препятствия.

Таблица 4. – Границы и предпочтительные значения параметров KZM

	$\bar{\theta}$	$\bar{\theta}$	$\bar{\theta}$	$\bar{V}$	$\bar{V}$	$\bar{V}$	$\bar{\sigma}$	$\bar{\sigma}$	$\bar{\sigma}$
Открытое море	-60°	60°	+30°	$V_{\text{ПМХ}}$	$V_{\text{ПСМХ}}$	0	$S_{\text{ФП}}$	$S_{\text{ФО}}$	$S_{\text{ФП}}/2$
Прибрежные воды	-60°	60°	+25°	$V_{\text{ПМХ}}$	$V_{\text{ПСМХ}}$	0	$S_{\text{ФП}}$	$S_{\text{ФО}}$	$S_{\text{ФП}}/2$
Узкости	-45°	45°	+20°	$V_{\text{ПМХ}}$	$V_{\text{ПСМХ}}$	$0,3V_{\text{П}}$	$S_{\text{ФП}}$	$S_{\text{ФО}}$	$S_{\text{ФП}}/2$

Семейство $\Omega^{\theta V}$ зон допустимых по отношению ко всем TS параметров θ, V первого действия KZM можно найти, например, с помощью полярной θV -диаграммы векторов скоростей для расхождения. Метод ее получения без учета динамики OS предложен в работах [5, 6].

Представим один из алгоритмов нахождения θV -диаграммы с учетом инерционности OS на примере ситуации с 6-ью судами (табл. 5). В этом

примере $\bar{\theta}=-60^0$, $\bar{\theta}=60^0$; $\bar{\eta}=2,2$ М, $\bar{\eta}=2,6$ М; $\bar{V}=5,5$ уз, $\bar{V}=22,0$ уз; $\bar{\delta}=0,5$ М; $\bar{\tau}=15$ мин. Расстояние от OS до A_Z равно 8,7 кб, а до точки Φ – 14,4 кб.

Таблиця 5. Параметри взаємного розположення и сближення судов

№ судна	K^0	V , уз.	Π^0	D , кб	δ , кб	τ , мин
0	20	17,0				
1	257	20,9	53	70,2	0,6	12,6
2	96	16,2	1	49,7	25,0	12,7
3	310	14,4	42	27,2	12,2	7,9
4	261	11,5	59	61,8	15,3	14,6
5	176	9,7	4	71,2	9,6	16,2

Выделим в интервалах $[\bar{\theta}, \bar{\theta}]$ и $[\bar{V}, \bar{V}]$ множества $\{\theta_k\}$, $\{V_\mu\}$ равноотстоящих значений θ , V через малый шаг: Δ_θ для θ и Δ_V для V . Значениям V_μ соответствуют изменения хода $\nabla_\mu = V_\mu - V_\Pi$. Рассчитаем с учетом динамики OS варианты первого действия KZM с началом в точке A_Z и параметрами, соответствующими каждой паре значений θ_k , ∇_μ . Определим безопасность этих вариантов по отношению ко всем учитываемым «целям». Отметив безопасные варианты в декартовой системе координат θ , ∇ (например, белым цветом как на рис. 2), получим прямоугольную $\theta\nabla$ -диаграмму допустимых значений параметров первого действия KZM.

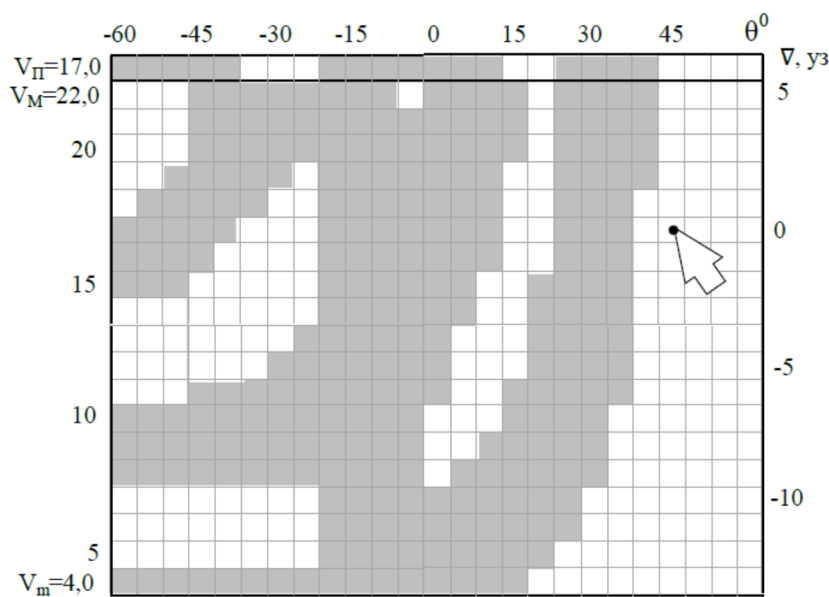


Рис. 2. $\theta\nabla$ -диаграмма с диапазоном θ от -60^0 до $+60^0$

Можно предложить следующие виды использования $\theta\nabla$ -диаграммы.

1. Указание θ , ∇ для расхождения курсором (на рис. 2: $\theta=45^0$, $\nabla=0$ уз.). Отвечающая этим значениям траектория KZM с самым коротким отрезком уклонения показывается на ENC (рис. 3). Алгоритм ее расчета приведен в [1]. На сплошных отрезках на линии уклонения инициация возвращения к K_Π и V_Π приведет к возникновению угрозы столкновения, на точечных отрезках такой угрозы не будет. При необходимости на линии уклонения курсором может быть намечено другое начало возвращения OS к K_Π и V_Π .

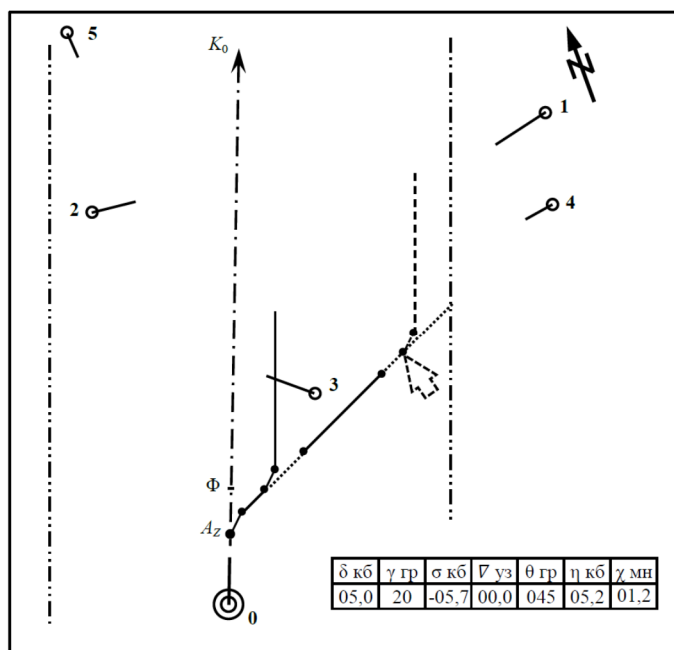
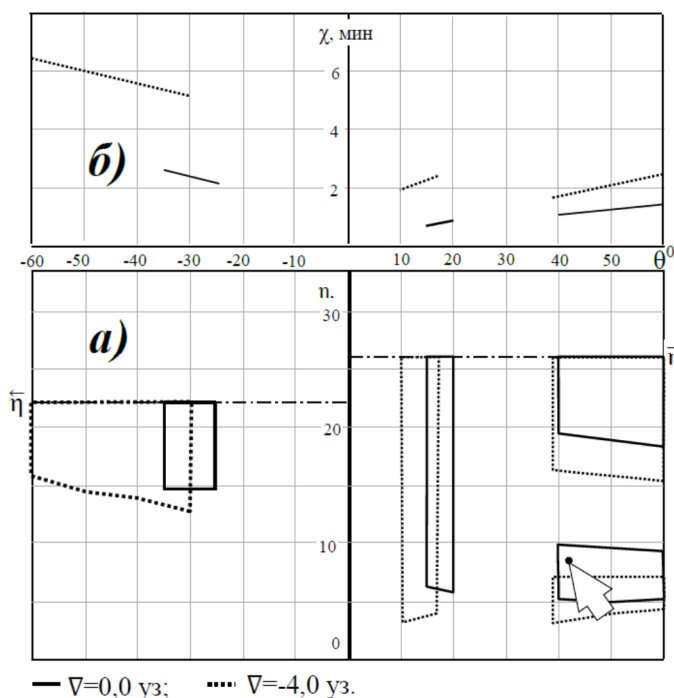


Рис. 3. Отображение траектории маневра расхождения

2. Выделение на $\theta\nabla$ -диаграмме одной или двух строк. Для выбора эффективного θ при определенном ∇_Z курсором отмечается соответствующая ∇_Z строка диаграммы. Для нее находится семейство $\theta\eta$ -зон допустимых значений координат базовых точек KZM, в которых возвращение к K_{Π} и V_{Π} безопасно. В этих зонах курсором могут быть выбраны значения θ , η для расхождения. Для проверки, не будет ли при других значениях ∇ лучшего варианта KZM, можно выделить две строки, и получить два семейства $\theta\eta$ -зон. На рис. 4,а приведены такие семейства для $\nabla_1=0,0$ уз. и $\nabla_2=4,0$ уз. в ситуации, данные которой представлены в табл. 5.

Рис. 4. Семейства зон безопасных значений θ и η KZM с $\nabla=0,0$ уз и $\nabla=-4,0$ уз

На рис. 4,б показаны графики потерь χ времени в зависимости от θ для КЗМ с наименьшим η отклонением от маршрута перехода. Выбрав предпочтительное значение ∇ , в соответствующих ему зонах курсором можно назначить координаты θ , η базовой точки КЗМ для расхождения. Траектория и параметры этого маневра показываются на ENC.

3. Выделение одного или двух столбцов для получения семейств зон допустимых значений ∇ и ς . Такой вид предусматривается в случаях, в которых возможны только малые отклонения от маршрута. Для выбора ∇ при определенном θ_Z отмечается соответствующий θ_Z столбец $\theta\nabla$ -диаграммы. Для него находится семейство $\nabla\varsigma$ -зон допустимых значений параметров КЗМ, в которых возвращение к K_{Π} и V_{Π} безопасно. В этих зонах курсором могут быть выбраны значения ∇ и ς варианта КЗМ для расхождения. Можно также выделить два столбца, и получить для них два семейства $\nabla\varsigma$ -зон. Такой случай ниже характеризуется для ситуации, данные которой приведены в табл. 6, и $\bar{\eta}=0,5$ М, $\bar{\eta}=0,5$ М; $\bar{\theta}=-16^\circ$, $\bar{\theta}=16^\circ$; $\bar{V}=5,5$ уз, $\bar{V}=22,0$ уз; $\bar{\delta}=0,5$ М; $\bar{\tau}=15$ мин. Расстояние от OS до A_Z равно 12,8 кб, а до точки Φ – 20,5 кб.

Таблица 6. Параметры взаимного расположения и сближения судов

№ судна	K^0	V , уз.	Π^0	D , М	δ , М	τ , мин
0	35	17,0				
1	293	19,1	78	6,91	0,20	14,7
2	302	17,3	99	5,87	2,03	13,2
3	26	14,8	287	1,85	0,89	-28,5
4	217	10,1	16	4,94	1,66	10,3
5	116	15,8	358	6,63	1,20	18,3

Для этого примера $\theta\nabla$ -диаграмма показана на рис. 5, а семейства $\nabla\varsigma$ -зон для $\theta_1=0^\circ$ и $\theta_2=10^\circ$ – на рис. 6,а. На рис. 6,б показаны графики потерь χ времени в зависимости от ∇ для КЗМ с наименьшим ς участком уклонения.

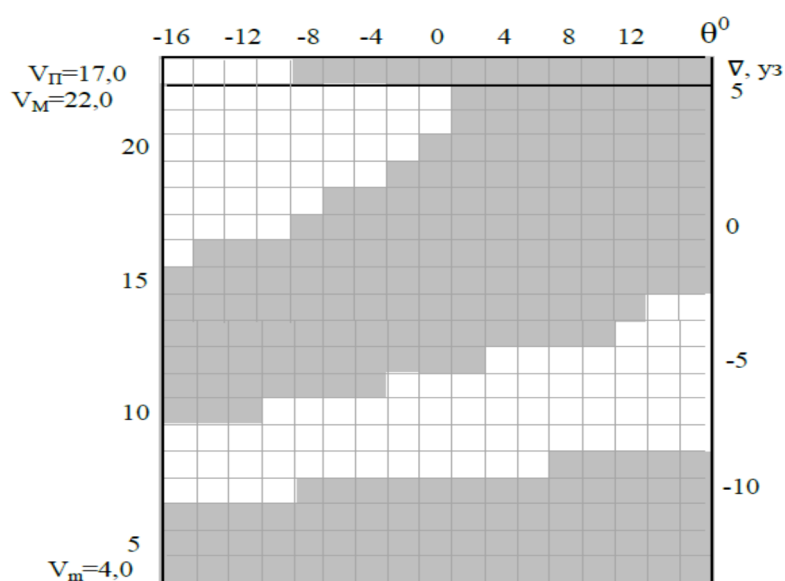


Рис. 5. $\theta\nabla$ -диаграмма с диапазоном θ от -16° до $+16^\circ$

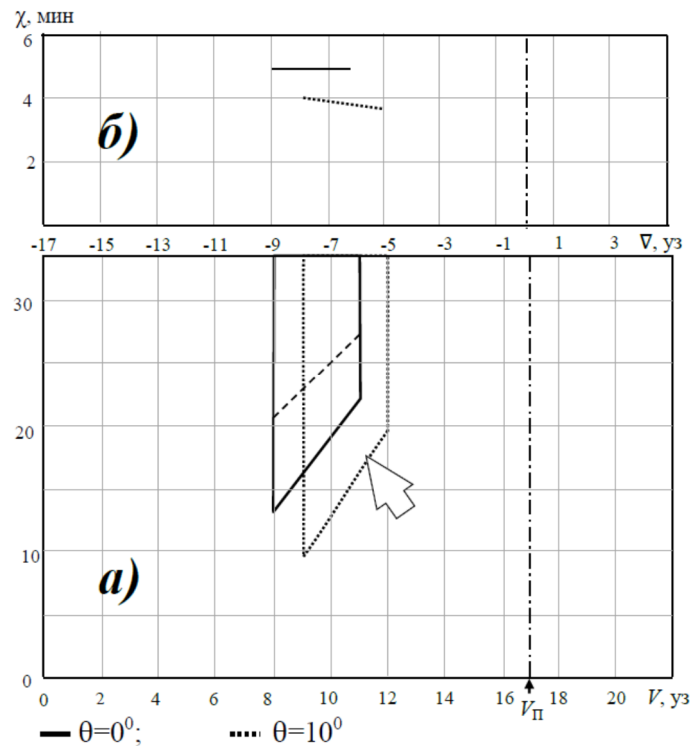


Рис. 6. Семейства зон безопасных значений ∇ и η KZM с $\theta=0^\circ$ и $\theta=10^\circ$

Для $\theta=10^\circ$ соответствующая положению курсора на рис. 6 траектория маневра представлена на рис. 7.

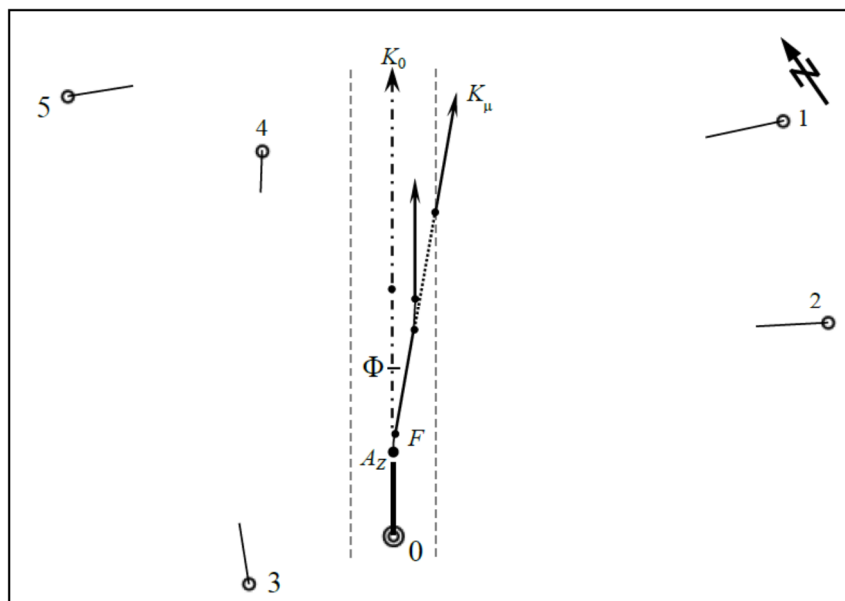


Рис. 7. Отображение информации по выбору маневра

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Предложенный метод позволяет в сложных коллизионных ситуациях упростить выбор эффективного варианта комбинированного Z-маневра с получением информации о расстоянии отхода от линии пути, что важно в стесненных водах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вагущенко Л.Л. Упрощение выбора двух шаговых маневров расхождения с судами /Л.Л. Вагущенко, А.Л. Вагущенко – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2018. – 82 с.
2. Демин С.И. Управление судном: учебник (для вузов) / С.И. Демин, Е.И. Жуков, Н.А. Кубачев и др.; под ред. В.И. Снопкова. – М.: Транспорт. 1991. – 359 с.
3. Мальцев А.С. Маневрирование судов при расхождении /А. С. Мальцев, Е.Е. Тюпиков, И.И. Ворохобин [3-е изд., перераб. и доп.]. – Одесса: Морской тренажерный центр, 2013. – 304 с.
4. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н.Н. Цымбал, И.А. Бурмака, Е.Е. Тюпиков – Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.
5. Degre T. A collision avoidance system / T. Degre, X. Lefevre //The Journal of Navigation. - 1981. – 34. - P. 294-302.
6. Pedersen E. Simulator studies on a collision avoidance display that facilitates efficient and precise assessment of evasive manoeuvres in congested waterways / E. Pedersen, K. Inoue, M. Tsugane //The Journal of Navigation. - 2003. – 56. - P. 411 - 427.