

УДК 656.61.052

**GROUP OF VESSELS MAIN PARAMETERS FOR REMOTE NAVIGATION****ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУППЫ СУДОВ ПРИ ВНЕШНЕМ УПРАВЛЕНИИ ПРОЦЕССОМ СУДОВОЖДЕНИЯ**

**I. A. Burmaka**, *PhD, associate professor*, **G. E. Kalinichenko**, *PhD student*,  
**M. A. Kulakov**, *PhD student*

**И. А. Бурмака**, *к.т.н., доцент*, **Г. Е. Калиниченко**, *аспирант*,  
**М. А. Кулаков**, *аспирант*

*National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine*

*Национальный университет «Одесская морская академия», Украина*

**ABSTRACT**

Main parameters of group of vessels for remote navigation process are represented in the article; elementary groups of the first and second levels are considered in more detail. It is shown that ship maneuver can be chosen by means of courses dangerous zone of and speeds dangerous zone. As well, the terms of optimum maneuver determination for elementary group of vessels is obtained.

**Key words:** safety of navigation, group of vessels, remote process control, courses dangerous zones.

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

В настоящее время стесненные районы плавания с особенно интенсивным движением оборудуются станциями управления движением судов (СУДС), которые предназначены для контроля процесса судовождения и управления движением опасно сближающихся судов. Поэтому разработка способов управления опасно сближающимися судами, чему посвящена данная статья, является актуальным и перспективным научным направлением.

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

В статье [1] предлагается вариант формализации основных характеристик управляемой динамической системы судов, а принципы управления группой судов при возникновении ситуации опасного сближения рассмотрены в работе [2].

Вопросам применения опасной области курсов судов для безопасного судовождения посвящены работы [3, 4], причем в работе [3] рассмотрено использование опасной области курсов двух судов для выбора допустимого

маневра расхождения, а маневр расхождения трех судов с изменением их курсов предложен в работе [4].

### **Формулировка целей статьи (постановка задачи)**

Цель публикации заключается в формировании характеристик группы судов при внешнем управлении процессом судовождения и использовании опасных областей курсов и скоростей для выбора безопасного маневра расхождения группы, состоящей из двух судов.

### **Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов**

Группой судов называется система из двух и большего числа судов. Ее размерность  $m$  определяется числом судов, а уровень  $n$  группы равен числу движущихся судов. Очевидно, группа судов первого уровня содержит подвижное и неподвижное суда. Поэтому  $n=m-s$ , где  $s$  – число неподвижных судов.

Группа судов содержит как управляемые, так и неуправляемые суда, которые не имеют связи с внешним управленцем. Поэтому следует учесть управляемость подвижных судов группы, которая выражается числом  $г$  управляемых судов группы.

С точки зрения безопасности состояние группы судов характеризуется прогнозируемыми значениями дистанции кратчайшего сближения каждой пары судов группы. Причем в этом контексте состояние зависит от параметров движения судов и их относительной позиции.

Если прогнозируемое значение дистанции кратчайшего сближения меньше предельно-допустимой дистанции, то возникает ситуационное возмущение  $\omega_{ij}$ , которое должно быть компенсировано маневром расхождения соответствующей пары судов. В общем случае ситуационное возмущение  $\omega_{ij}$  может принимать значения 0, 1 и 2. Значение 0 характеризует отсутствие ситуационного возмущения, при значении 1 суда находятся в первой области взаимных обязанностей и ситуационное возмущение может быть компенсировано маневром одного судна. Если ситуационное возмущение принимает значение 2, то суда находятся во второй области взаимных обязанностей и для его компенсации необходим маневр обоих судов.

При внешнем управлении в случае опасного сближения выбор стратегии расхождения производится не опасно сближающимися судами, а внешним управленцем. Поэтому в такой ситуации отсутствует система координации, регламентирующая взаимодействие опасно сближающихся судов (МППСС-72).

Рассмотрим подробнее элементарную группу судов размерности  $m=2$ . Состояние элементарной группы с позиций безопасности расхождения целесообразно характеризовать соотношением дистанций кратчайшего сближения и предельно-допустимой дистанции сближения. В конкретной ситуации предельно-допустимая дистанция сближения является постоянной и

состояние безопасности расхождения элементарной группы характеризуется дистанцией кратчайшего сближения.

Множество состояний элементарной группы второго уровня (оба судна являются подвижными), как показано в работе [2], целесообразно представлять областью опасных курсов, которая отображается на расширенной плоскости курсов судов элементарной группы (рис. 1).

Границами области являются точки  $(K_i, K_j)$ , которые удовлетворяют уравнению:

$$\sin(K_i - \gamma) = \frac{V_j}{V_i} \sin(K_j - \gamma), \quad (1)$$

где  $\gamma = \alpha_{ij} \pm \arcsin \frac{d_d}{D_{ij}}$ , здесь  $\alpha_{ij}$  и  $D_{ij}$  - соответственно пеленг и дистанция

между судами, а  $d_d$  - предельно-допустимые дистанции сближения.

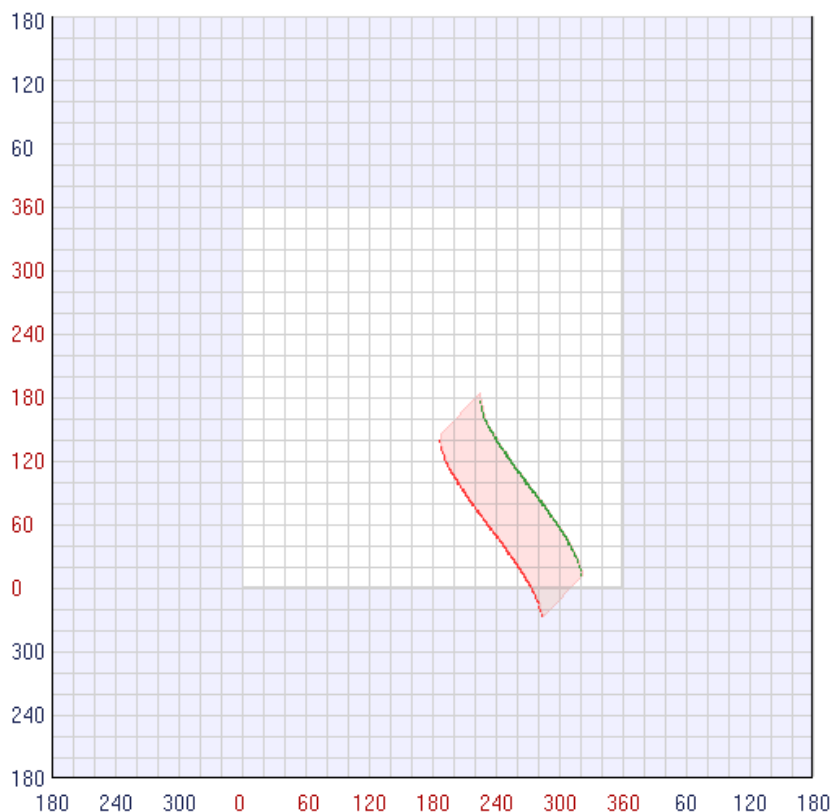


Рис.1. Опасная область курсов элементарной группы судов

Если точка  $(K_i, K_j)$  находится внутри области опасных курсов, то дистанция кратчайшего сближения меньше предельно-допустимой дистанции, и сближение судов является опасным. В случае же положения точки  $(K_i, K_j)$  на границе или вне области опасных курсов угроза столкновения отсутствует.

Если для пары судов точка с программными курсами  $(K_{i0}, K_{j0})$  находится в области опасных курсов, то маневром изменения курсов судов при их неизменных скоростях необходимо изменить состояние элементарной группы второго уровня, соответствующее точке  $(K_{iy}, K_{jy})$ , которая не принадлежит области опасных курсов. При этом переход из состояния ситуационного возмущения, точка  $(K_{i0}, K_{j0})$ , в безопасное состояние  $(K_{iy}, K_{jy})$ , требует интервала времени  $\tau_k$  и затрат  $c_k = \Delta K_i + \Delta K_j$ , где  $\Delta K_i = K_{iy} - K_{i0}$  и  $\Delta K_j = K_{jy} - K_{j0}$ .

Интервал времени  $\tau_3$  до момента, когда максимальное значение дистанции кратчайшего сближения  $\max \min D_{ij}$  меньше предельно-допустимой дистанции, т. е.  $\max \min D_{ij} \leq d_d$  зависит от начальной относительной позиции и параметров движения судов. Если  $\tau_3 \leq 0$ , то это значит, что суда не могут разойтись в дистанции  $d_d$ .

В качестве допустимого безопасного состояния  $(K_{iy}, K_{jy})$  может быть выбрана любая точка, которая не принадлежит к области опасных курсов и для которой справедливо неравенство  $\tau_k > \tau_3$ . Если допустимые безопасные состояния  $(K_{iy}, K_{jy})$  составляют множество, то выбирается оптимальный маневр перехода между состояниями  $(K_{i0}, K_{j0})$  и  $(K_{iy}, K_{jy})$ , для которого затраты  $c_k$  принимают минимальное значение, т. е.  $c_k = \min(\Delta K_i + \Delta K_j)$ .

Для элементарной группы первого уровня, которая состоит из подвижного и неподвижного судов, область опасных курсов вырождается в отрезок опасных курсов подвижного судна, причем границы отрезка определяются следующим образом.

Если одно судно неподвижное, то его скорость равна нулю, т. е.  $V_j = 0$ , а равенство (1) принимает вид:

$$\sin(K_i - \gamma) = 0,$$

откуда верхняя  $K_i^*$  и нижняя  $K_{i*}$  границы опасных курсов выражаются следующим образом:

$$K_i^* = \alpha_{ij} - \arcsin \frac{d_d}{D_{ij}},$$

$$K_{i*} = \alpha_{ij} + \arcsin \frac{d_d}{D_{ij}}.$$

Корректность полученных выражений подтверждается рис. 2.

В случае, когда опасно сближающиеся судна не могут изменять свой курс, предупреждение столкновения возможно изменением их скоростей. В этом случае целесообразно представить множество состояний элементарной группы судов второго уровня областью опасных скоростей, которая аналогична области опасных курсов, только каждой точке  $(V_i, V_j)$  парных скоростей судов

соответствует дистанция кратчайшего сближения, характеризующая состояние элементарной группы судов. Граница опасной области скоростей, каждая точка которой соответствует дистанции кратчайшего сближения равной предельно-допустимой, формализуется выражением:

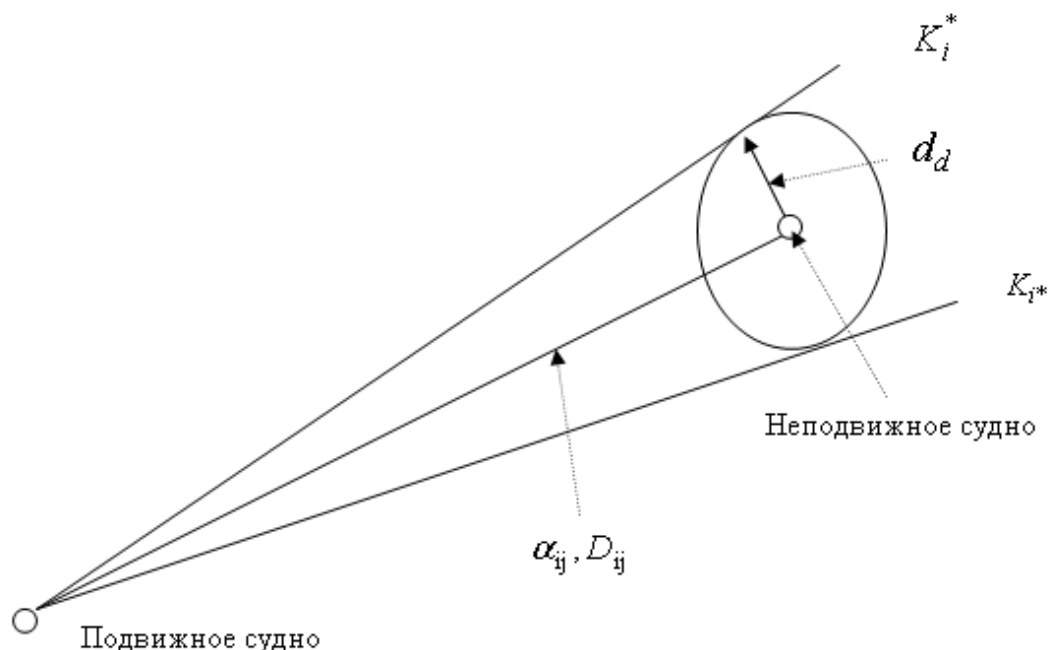


Рис. 2. Граничные значения опасной области курсов группы первого уровня

$$V_i^* = V_j \frac{\sin(K_j - \gamma^*)}{\sin(K_i - \gamma^*)}, \quad V_{i^*} = V_j \frac{\sin(K_j - \gamma_*)}{\sin(K_i - \gamma_*)},$$

где  $\gamma^* = \alpha_{ij} - \arcsin \frac{d_d}{D_{ij}}$ ,

$$\gamma_* = \alpha_{ij} + \arcsin \frac{d_d}{D_{ij}}.$$

Очевидно, при постоянных значениях курсов  $K_i, K_j$  и параметров  $\gamma^*, \gamma_*$  границы опасной области скоростей являются линейными.

Если точка  $(V_i, V_j)$  парных скоростей судов находится в области опасных скоростей, то дистанции кратчайшего сближения меньше предельно-допустимой дистанции. В противном случае расхождение судов является безопасным. Следовательно, признаком опасного сближения судов элементарной группы является принадлежность начальной точки  $(V_{i0}, V_{j0})$

опасной области скоростей. Возникшее ситуационное возмущение можно компенсировать изменением скоростей судов, выбирая состояние, соответствующее точке  $(V_{iy}, V_{jy})$ , которая находится вне опасной области скоростей. Маневр скоростью переводит элементарную группу из состояния  $(V_{i0}, V_{j0})$  в состояние  $(V_{iy}, V_{jy})$  при условии, что справедливо неравенство  $\tau_k > \tau_3$ .

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

Таким образом, в статье представлены характеристики группы судов при внешнем управлении процессом судовождения, подробно рассмотрена элементарная группа судов первого и второго уровня. Показано, что маневр расхождения судна можно выбрать с помощью опасных областей курсов и опасных областей скоростей, причем получены условия определения оптимальных маневров изменением курсов или скоростей элементарной группы судов.

В дальнейшем целесообразно рассмотреть процедуры расчета параметров оптимального маневра расхождения с учетом инерционных характеристик судов.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Булгаков А.Ю. Формализация основных характеристик управляемой динамической системы судов/ Булгаков А.Ю. // Судовождение. – 20013. - № 23. – С. 7-12.
2. Бурмака И.А. Управление группы судов в ситуации опасного сближения / Бурмака И.А, Булгаков А.Ю. // Вестник Государственного университета морского и речного флота им.адмирала С. О. Макарова. Санкт-Петербург.– 2014. – выпуск 6 (28). – С. 9 - 13.
3. Булгаков А.Ю. Использование опасной области курсов двух судов для выбора допустимого маневра расхождения/ Булгаков А.Ю.// Водный транспорт. – 2014. №2 (20).– С. 12 – 17.
4. Булгаков А.Ю. Маневр расхождения трех судов с изменением их курсов / Булгаков А.Ю., Алексейчук Б.М.// Проблеми техніки: Науково-виробничий журнал. - 2014. №1 . – С. 75 - 81.