

## ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ БИНАРНОЙ КООРДИНАЦИИ СУДОВ С УЧЕТОМ ЗАКОНА НЕОБХОДИМОГО РАЗНООБРАЗИЯ ЭШБИ

Аварийность судов по причине столкновений в настоящее время остается на недопустимо высоком уровне. Одной из причин высокой аварийности по указанной причине является система бинарной координации пары опасно сближающихся судов, которая реализована в МППСС-72, на что указывается в работе [1]. Поэтому актуальным является вопрос разработки системы бинарной координации, которая учитывает существенные факторы, обеспечивающие ее корректность.

Принципам создания систем бинарной координации посвящены работы [2 - 4]. Вопросу определения угрозы ситуационного возмущения при опасном сближении судов посвящена работа [2], а возможный вариант системы, содержащей два иерархических уровня, рассмотрен в работах [3, 4], причем описание первого уровня приведено в публикации [3], а формализация второго уровня рассмотрена в статье [4].

Целью данной публикации является разработка структуры системы бинарной координации судов с учетом закона необходимого разнообразия Эшби.

Система бинарной координации  $c_o$  является средством для описания тенденции поведения пары взаимодействующих судов при возникновении ситуационного возмущения  $\omega$  с целью его компенсации.

В качестве маневра расхождения рассмотрим маневр изменения курса судна в ситуации опасного сближения пары судов, когда компенсация ситуационного возмущения  $\omega$  возможна стандартным маневром расхождения, исключая экстренное маневрирование.

Прежде всего, система бинарной координации  $c_o$  должна удовлетворять закону необходимого разнообразия Эшби [5], согласно которому разнообразие имеющихся стратегий расхождения должно соответствовать разнообразию возможных ситуационных возмущений. В противном случае система  $c_o$  не сумеет компенсировать ситуационные возмущения, создавая предпосылки для столкновений судов.

В рассматриваемом случае это значит, что система  $c_o$  должна располагать потенциальной возможностью компенсации ситуационного возмущения во всех случаях при отсутствии ситуации чрезмерного сближения. С одной стороны ситуационное возмущение характеризу-

ется множеством недопустимых относительных курсов  $M_d$ , при которых существует опасность столкновения, а с другой стороны система бинарной координации  $c_o$  имеет возможность сформировать множество безопасных относительных курсов  $M_s$ . Опасность столкновения будет предупреждена и ситуационное возмущение будет компенсировано, если множество недопустимых относительных курсов  $M_d$  будет включено в множество безопасных относительных курсов  $M_s$ , т.е.  $M_d \subset M_s$ . В этом случае существуют безопасные относительные курсы, позволяющие реализовать стратегию расхождения  $G$ , и будут выполнены требования закона необходимого разнообразия Эшби. При ситуационном возмущении начальный относительный курс принадлежит множеству  $M_d$ , которое, как показано на рис. 1, заключено в границах  $M_d = (\alpha - \theta, \alpha + \theta)$ , где  $\theta = \arcsin D_d / D$ .

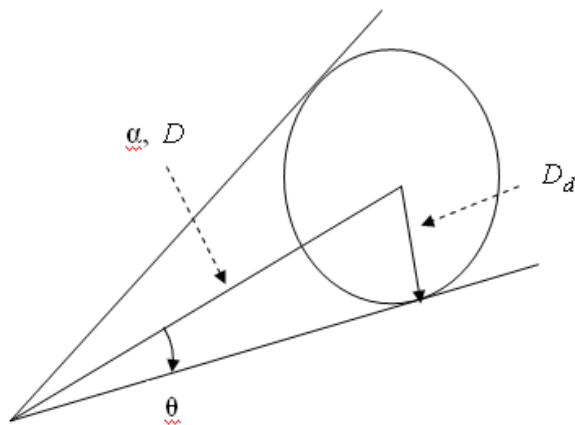


Рис. 1. К определению множества  $M_d$

Множество  $M_d$  можно представить дугой  $d = 2 \arcsin D_d / D = 2\theta$  ( $d < \pi$ ).

Рассмотрим множество безопасных относительных курсов  $M_s$ , соответствующее маневрированию каждого из судов  $c_1$  и  $c_2$ . При маневрировании судна с большей скоростью  $c_2$  изменение его курса на  $2\pi$  ведет к изменению относительного курса также на  $2\pi$  [6]. Если

же маневрирует судно с меньшей скоростью  $c_1$ , то относительный курс изменяется в пределах от  $K_{or\min} = \pi + K_2 - \arcsin \rho$  до  $K_{or\max} = \pi + K_2 + \arcsin \rho$ , как показано в работе [6]. Следовательно, множество относительных курсов при маневрировании судна  $c_1$  характеризуется дугой  $s = 2 \arcsin \rho < \pi$ .

Таким образом, при маневрировании судна  $c_2$  множество  $M_s = 2\pi$  и  $M_d \subset M_s$ , чего нельзя утверждать в случае маневрирования судна  $c_1$ . Закон необходимого разнообразия Эшби выполняется, если система бинарной координации  $c_o$  предусматривает компенсацию ситуационного возмущения следующими способами:

1. Совместным маневром обоих судов  $c_1$  и  $c_2$ .
2. Маневром судна с большей скоростью  $c_2$ .

Судно, которому системой  $c_o$  предписывается выполнение маневра расхождения, будем называть активным, а судно, сохраняющее неизменными параметры движения, - пассивным.

При первом способе ситуационное возмущение компенсируется двумя активными судами. В этом случае необходимо согласование маневров расхождения обоих судов, т.е. их координация. Очевидно, что координация обеспечивает увеличение дистанции кратчайшего сближения при выполнении маневров расхождения судов. Это происходит для судов, сближающихся на встречных курсах, при изменении их начальных курсов в одну сторону (например, увеличение курсов обоих судов). В случае сближения судов на попутных курсах для координации маневров расхождения необходимо изменение курсов судов в разные стороны, например, судно  $c_1$  увеличивает курс, а судно  $c_2$  - уменьшает курс.

Следует обратить внимание, что изменение дистанции кратчайшего сближения  $D_{\min}$  определяется составляющей суммарной скорости судов  $V_2 \sin(K_{2y} - \alpha) - V_1 \sin(K_{1y} - \alpha)$ , перпендикулярной к линии пеленга. Указанная скорость увеличивается, если составляющие скорости имеют разные знаки, чем и обоснованы выводы по координации маневров расхождения двух активных судов.

Во втором способе ситуационное возмущение компенсируется одним судном, т. е. маневр расхождения производится одним из судов, в то время как другое судно сохраняет неизменные параметры движения. В этом случае не возникает необходимость в их координации.

Таким образом, при компенсации ситуационного возмущения обоими судами или только судном с большей скоростью выполняются требования закона необходимого разнообразия Эшби.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сафин И.В. Анализ результатов имитационного моделирования процесса расхождения судов // Судовождение. - 2003. - № 6. - С. 122 - 129.
2. Пятаков Э.Н. Оценка эффективности парных стратегий расходящихся судов/ Пятаков Э.Н., Заичко С.И. // Судовождение. - 2008. - № 15. - С. 166 -171.
3. Заичко С.И. Возможности синтеза системы формирования стратегий расхождения группы судов/ Заичко С.И., Пятаков Э.Н. // Судовождение. - 2006. - № 12. - С. 63 - 66.
4. Пятаков Э.Н. Требование к процедуре формирования второго уровня иерархической системы управления взаимодействием судов / Пятаков Э.Н. // Судовождение. - 2007. - № 13. - С. 145 - 148.
5. Эшби У. Росс. Введение в кибернетику/ У. Росс Эшби. - М.: Мир, 1959. - 256 с.
6. Бурмака, И.А. Экстренная стратегия расхождения при чрезмерном сближении судов / Бурмака И.А., Бурмака А.И., Бужбецкий Р.Ю. - LAP LAMBERT Academic Publishing, - Саарбрюккен (Германия), 2014. - 202 с.