

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОГО МАНЕВРИРОВАНИЯ СУДНА  
ПРИ НАЛИЧИИ ОКРУЖАЮЩИХ ЦЕЛЕЙ

В стесненных районах плавания программная траектория движения оперирующего судна состоит из большого количества последовательных участков. Наличие окружающих судов (целей) требует при переходе судна из предыдущего участка на последующий производить проверку безопасности реализации последующего участка в отношении столкновения с другими судами, а в случае опасного сближения хотя бы с одной целью - производить выбор безопасного курса, максимально совпадающего с программной траекторией и не ведущего к мели.

Вопросы безопасного плавания судна в стесненных водах с учетом мешающих судов и опасных целей рассмотрены в работах [1, 2]. Однако задача безопасного следования очередным участком программной траектории не рассматривалась.

Целью публикации является разработка метода безопасного выхода судна на очередной участок программной траектории, предотвращающего возможные столкновения судна с окружающими целями.

Для решения указанной задачи необходимо определить, во-первых, существует ли опасность столкновения с каждой из окружающих целей, и, во-вторых, если существует, то - каким образом произвести выбор безопасного курса.

Допустим в момент времени  $t_0$ , следуя курсом  $K_{v1}$ , планируется произвести поворот судна на очередной участок программной траектории с курсом  $K_{v2}$ . Если имеются окружающие суда, то необходимо убедиться, что после поворота судна на новый курс не возникнет угроза столкновения ни с одним из них.

Для этого необходимо рассчитать моменты времени начала  $t_n$  и конца  $t_k$  поворота судна на очередной участок программной траектории и положение судна на момент времени выхода на новый участок  $t_k$ . На этот момент времени, исходя из параметров движения окружающих судов (целей), необходимо произвести прогноз их положений и рассчитать пеленги  $\alpha_i$  и дистанции  $d_i$  до каждой цели. На рис. показаны три цели 1, 2 и 3 в момент времени прогноза  $t_k$ . Для каждой

цели необходимо рассчитать опасные секторы относительных курсов  $M_{oi1} = [K_{oi1p}, K_{oi1s}]$ ,  $M_{oi2} = [K_{oi2p}, K_{oi2s}]$  и  $M_{oi3} = [K_{oi3p}, K_{oi3s}]$ , при которых дистанция кратчайшего сближения судна с целью меньше предельно - допустимой  $d_d$ .

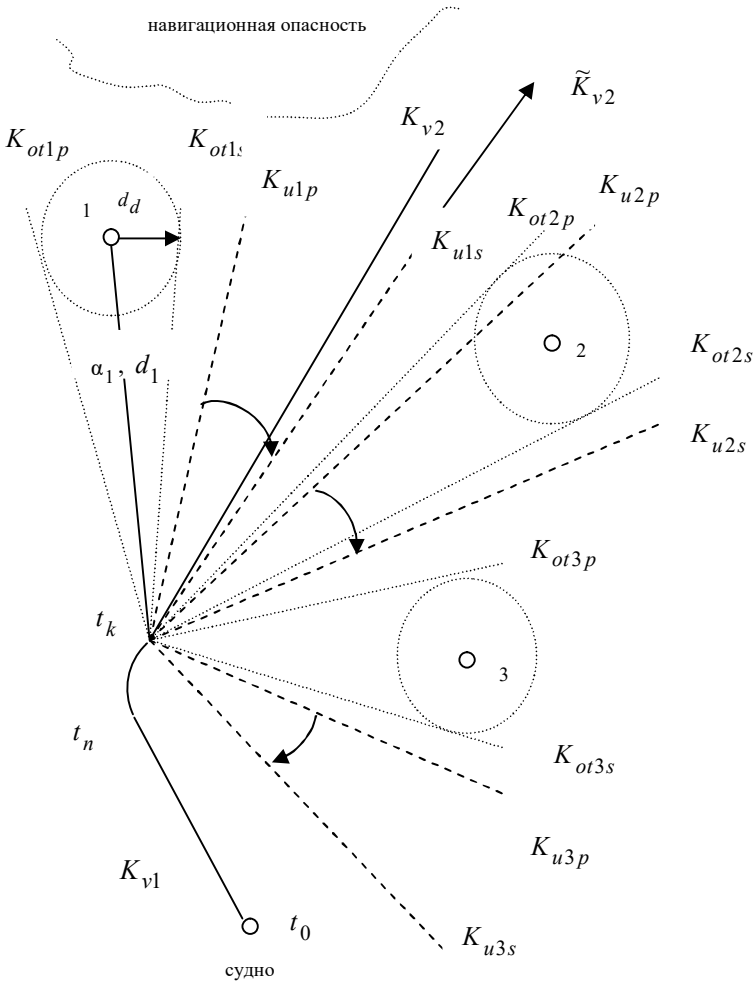


Рис. Выбор безопасного курса судна после поворота

Как показано в работе [3], расчет граничных относительных курсов, например для цели 1, производится с помощью выражений:

$$K_{o1p} = \alpha_1 - \arcsin(d_d / d_1) \text{ и } K_{o1s} = \alpha_1 + \arcsin(d_d / d_1) .$$

Аналогично рассчитываются граничные относительные курсы для целей 2 и 3. Проверка безопасности следования программным курсом  $K_{v2}$  после поворота судна требует преобразования опасных секторов относительных курсов  $M_{oi}$  в соответствующие подмножества опасных истинных курсов судна  $M_{ui}$  относительно  $i$ -й цели. Так как каждому относительному курсу соответствует истинный курс судна, то для подмножества  $M_{ui}$  достаточно рассчитать граничные значения  $K_{uip}$  и  $K_{uis}$ , соответствующие границам  $K_{oip}$  и  $K_{ois}$  опасных секторов относительных курсов  $M_{oi}$ .

В работе [3] приведена зависимость между относительным и истинным курсами судна при известной скорости судна и заданных параметрах движения цели, с помощью которой определяются граничные курсы  $K_{uip}$  и  $K_{uis}$ :

$$K_{uip} = K_{oip} + \arcsin [p_i^{-1} \sin(K_{ci} - K_{oip})];$$

$$K_{uis} = K_{ois} + \arcsin [p_i^{-1} \sin(K_{ci} - K_{ois})],$$

где  $K_{ci}$  - курс  $i$ -й цели;  $p_i = V_v / V_{ci}$ ;  $V_v$  - скорость судна;  $V_{ci}$  - скорость  $i$ -й цели.

Как следует из рис., курс судна  $K_{v2}$  на втором участке программной траектории попадает в первое подмножество опасных истинных курсов судна  $M_{u1}$ , т.е.  $K_{v2} \in [K_{uip}, K_{uis}]$ . Это означает, что следование судна программным курсом  $K_{v2}$  ведет к опасному сближению с первой целью и возникает угроза столкновения с ней.

В этом случае необходимо изменить программный курс  $K_{v2}$  на  $\tilde{K}_{v2}$ , который, во-первых, не принадлежит подмножествам опасных истинных курсов судна  $M_{u1}$ ,  $M_{u2}$  и  $M_{u3}$ , а во-вторых, минимально отличается от программного курса  $K_{v2}$ . Аналитически эти требования выражаются следующим образом:

$$\tilde{K}_{v2} \notin \left\{ \bigcup_{i=1}^n [K_{uip}, K_{uis}] \right\};$$

$$\tilde{K}_{v2} = K_v^*,$$

где значение  $K_v^*$  определяется из соотношения

$$\left| \sin(K_v^* - K_{v2}) \right| = \min \left\{ \bigcup_{i=1}^n \left| \sin(K_{uip(s)} - K_{v2}) \right| \right\}.$$

В данных выражениях  $n$  является числом окружающих целей.

В приведенном примере измененный программный курс  $\tilde{K}_{v2}$  равен граничному значению подмножества опасных истинных курсов судна с первой целью  $K_{u1s}$ .

В случае, когда указанные два требования не выполняются, тогда следует уменьшить значение предельно допустимого значения  $d_d$ , пока требования станут выполнимыми.

Предложенный способ выполнения поворота судна с учетом возможной опасности столкновения с окружающими целями целесообразно реализовать в судовой информационной системе с электронными картами, добавив дополнительный модуль к программному обеспечению. В этом случае оценка опасности столкновения и при необходимости выбор безопасного курса производится оператором, используя изображение окружающей обстановки на экране монитора системы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степаненко В.В. Формализация контроля текущей ситуации и принятие решений по ее управлению // Судовождение. - 2001. - № 3. - С. 177 – 184.
2. Алексишин А.В. Использование зоны безопасности судна для снижения аварийности // Судовождение. - 2005. - № 10. - С. 3 – 8.
3. Сафин И.В. Расчет граничных значений параметров множества допустимых маневров расхождения // Судовождение. - 2002. - № 4. - С. 95 – 100.