

### КАЧЕСТВО РЕКОМЕНДАЦИЙ ЭКНИС ПО РАСХОЖДЕНИЮ С СУДАМИ

Одним из способов уменьшения числа и последствий морских аварий является применение в судовых навигационных системах программных средств, выполняющих функции поддержки принятия решений, в частности, генерирование рекомендаций по решению коллизионных ситуаций с оставлением окончательного выбора маневра навигатору. Качество таких рекомендаций должно быть достаточно высоким, чтобы поддержка решений была эффективной. В настоящее время в ЭКНИС уже нашли применение первые образцы программных средств поддержки принятия решений по расхождению с судами. Это разработанный в компании "Totem Plus" (Израиль) и примененный в ее ЭКНИС программный продукт DST (Decision support tools) [6], созданные исследовательской группой Морского университета г. Щецин программные средства NAVDEC [5], и основанная на работах [3, 4] система VCASS (Visualization-based Collision Avoidance Support System), реализованная в ЭКНИС "NavCom Voyager" компании "Navmarine". Названные средства облегчают выбор маневров расхождения в ситуациях с несколькими судами, но, в то же время, имеют ряд ограничений и недостатков, что определяет необходимость совершенствования этих инструментов.

Целью статьи является анализ качества рекомендаций ЭКНИС по расхождению с судами и разработка предложений по его улучшению.

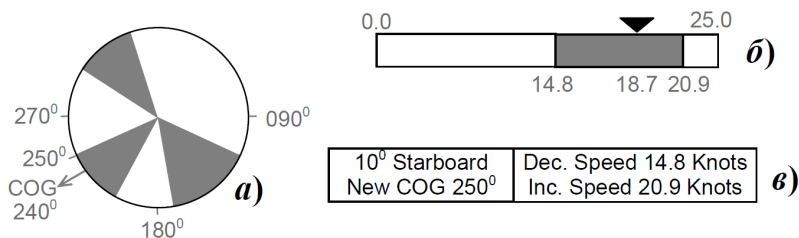


Рис. 1. Индикаторы опасных курсов и скоростей в ЭКНИС "Totem Plus"

В ЭКНИС компании "Totem Plus" и в разработке NAVDEC для выбора маневров курсом или скоростью в ситуации с несколькими судами используются индикаторы секторов опасных курсов (рис. 1, а) и интервалов опасных скоростей (рис. 1, б) по отношению ко всем "целям" в пределах заданного расстояния. Опасные диапазоны названных параметров отмечены на рисунке тёмно-серым цветом. По данным этих индикаторов с учетом положений МППСС-72 вырабатываются рекомендации по расхождению с судами (рис. 1, в). Границы опасных диапазонов курса и скорости для этих индикаторов вычисляются без учета динамических свойств собственного судна (OS - own ship). Это приводит к погрешностям, растущим с увеличением изменения курса или скорости при расхождении. Такая погрешность в линии курса OS характеризуется на рис. 2.

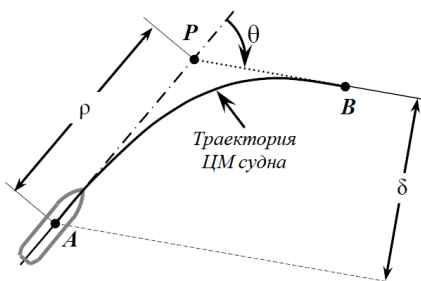


Рис. 2. Погрешность от пренебрежения динамикой судна:

$\theta, A, B$  – угол поворота и точки его начала и конца;  $\rho$  – расстояние от точки  $A$  начала поворота до точки  $P$  пересечения линий выбранного и исходного курса;  $\delta = \rho \cdot \sin\theta$  – погрешность в линии нового курса

Если при небольших значениях  $\theta$  погрешность  $\delta$  мала, то при  $\theta > 30^\circ$  она может быть значительной, особенно у крупнотоннажных судов. При  $\theta = 90^\circ$   $\delta$  равна выдвигу судна, который при предельной кладке руля может достигать четырех длин судна. Отсюда можно заключить, что этой погрешностью нельзя пренебрегать даже в открытом море.

Приведем возможный способ учета  $\delta$  при расчете одной из границ сектора опасных курсов, рассматривая ситуацию сближения OS с судном  $J$ , представленную на рис. 3, а в истинном движении, а на рис. 4, а – в относительном. На этих рисунках  $K_0, V_0$  и  $K_J, V_J$  – исходные курс, скорость OS и "цели".

Для расчета границы порождаемого "целью"  $J$  сектора опасных курсов используем метод последовательных приближений. В качестве начального значения этой границы примем курс  $K^{(0)}$ , полученный без учета инерционности ОС. Для нахождения  $K^{(0)}$  вначале по координатам ОС и "цели" (см. рис. 4, а) вычислим относительный курс  $k^{(0)}$  ОС, приводящий к расхождению с "целью" на заданной дистанции кратчайшего сближения  $d_L$ . Затем из треугольника скоростей (рис. 4, б) определим курс  $K^{(0)}$  ОС для расхождения с "целью" на расстоянии  $d_L$  и угол поворота  $\theta^{(0)}$  для прихода на этот курс. Эти значения представлены на рис. 3, а, б.

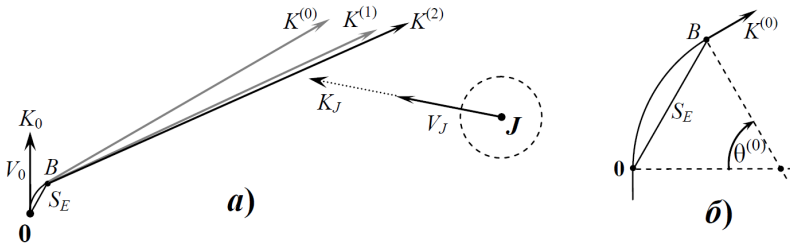


Рис. 3. Представление истинного движения судов

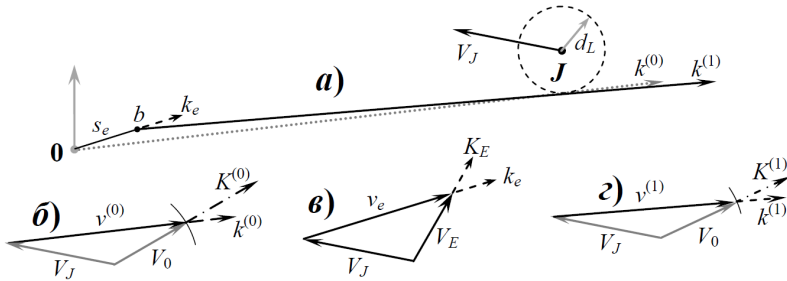


Рис. 4. Характеристика движения ОС относительно "цели"

Циклы уточнения начального значения  $K^{(0)}$  включают:

определение траектории, расстояния  $S_\theta$ , времени  $t_\theta$  и конечной точки  $B$  поворота (см. рис. 3, а, б) по выбранной модели движения судна (представление траектории поворота либо дугой окружности, либо сочетанием прямолинейного отрезка и дуги окружности, либо

точками, координаты которых рассчитаны по модели динамики судна в виде системы дифференциальных уравнений);

замену криволинейной траектории (см. рис. 3, *a*, *б*) эквивалентным по времени прямолинейным промежуточным отрезком с определением его длины  $S_E$ , направления  $K_E$  и скорости движения по нему  $V_E = S_E/t_0$ ;

расчет соответствующего отрезку  $S_E$  интервала  $s_e$  в относительном движении, направления  $k_e$  и скорости  $v_e$  движения по нему;

вычисление по  $k_e$  и  $s_e$  координат точки *b* (см. рис. 4, *a*);

нахождение по  $d_L$ , координатам точки *b* и "цели" (см. рис. 4, *a*) значения курса  $k^{(i)}$  ( $i$  – номер цикла уточнения) OS относительно "цели", приводящего к расхождению на дистанции  $d_L$ ;

определение курса  $K^{(i)}$  OS для расхождения с "целью" на расстоянии  $d_L$  и значения угла поворота  $\theta^{(i)}$  для прихода на этот курс.

Относительный курс  $k_e$  и скорость  $v_e$  OS в первом цикле находятся из треугольника скоростей (рис. 4, *в*) с известными двумя сторонами и углом между ними, а  $s_e = v_e t_0$ . Значение  $K^{(1)}$  получается из треугольника скоростей (рис. 4, *з*). Оно показано на рис 3, *a*.

После вычисления  $K^{(1)}$  выполняется второй цикл приближения, в результате получается значение  $K^{(2)}$ . Оно достаточно точно характеризует границу опасного сектора и третьего приближения обычно не требуется.

Кроме ошибок из-за пренебрежения инерционностью судна, нахождение маневра курсом по опасным секторам обладает еще одним недостатком, состоящем в неучете расстояний до "целей" при выработке рекомендуемого для расхождения курса. Поэтому существуют ситуации, когда рекомендуемый по границам опасных секторов курс расхождения далек от оптимального. Приведем в качестве примера одну из таких ситуаций, представленную на рис. 5, *a*, где OS присвоен номер 0, а "целям" - 1, 2, ..., 6. Параметры взаимного расположения и сближения этих судов имеют следующие значения:

$K_0=0^0$ ;  $V_0=17,1$  узл.;

$K_1=258^0$ ;  $V_1=19,1$  узл.;  $\Pi_1=39^0$ ;  $D_1=52,6$  кб;  $d_1=2,6$  кб;  $\tau_1=11,2$  мин;

$K_2=273^0$ ;  $V_2=16,9$  узл.;  $\Pi_2=79^0$ ;  $D_2=47,1$  кб;  $d_2=25,6$  кб;  $\tau_2=10,2$  мин;

$K_3=267^0$ ;  $V_3=17,3$  узл.;  $\Pi_3=63^0$ ;  $D_3=51,7$  кб;  $d_3=17,3$  кб;  $\tau_3=11,7$  мин;

$K_4=351^0$ ;  $V_4=14,8$  узл.;  $\Pi_4=243^0$ ;  $D_4=23,0$  кб;  $d_4=7,9$  кб;  $\tau_4=-37,9$  мин;

$K_5=182^0$ ;  $V_5=10,1$  узл.;  $\Pi_5=339^0$ ;  $D_5=44,9$  кб;  $d_5=16,3$  кб;  $\tau_5=9,2$  мин;

$K_6=81^0$ ;  $V_6=15,8$  узл.;  $\Pi_6=323^0$ ;  $D_6=55,6$  кб;  $d_6=9,6$  кб;  $\tau_6=15,4$  мин.

В этом списке:  $K_0$ ,  $V_0$  – исходные курс и скорость OS;  $K_J$ ,  $V_J$ ,  $\Pi_J$ ,  $D_J$ ,  $d_J$ ,  $\tau_J$  – соответственно курс, скорость, пеленг, дистанция, расстояние и

время кратчайшего сближения "цели"  $J$  ( $J=1, 2, \dots, 6$ ) в начальный момент времени.

Пределы безопасных значений расстояния и времени кратчайшего сближения приняты равными  $d_L=6$  кб;  $\tau_L=15$  мин. Домена опасности OS показана на рис. 5, а точечной окружностью. Расстояние, в пределах которого рассматриваются "цели", задано равным 6 миль.

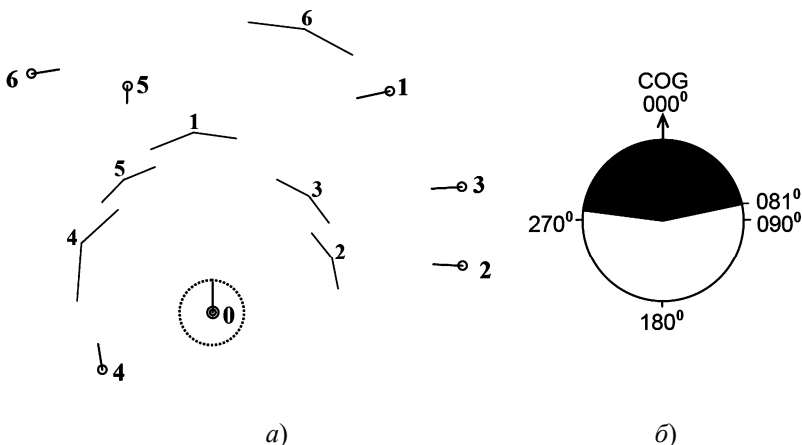


Рис. 5. Ситуация сближения судов

Секторы опасных курсов по отношению к "целям" отмечены на линиях их пути метками (серым цветом) прогнозируемых зон опасности. Эти секторы  $\gamma_j$  представлены ниже курсовыми углами своих границ:  $-21^0 \leq \gamma_1 \leq 8^0$ ;  $51^0 \leq \gamma_2 \leq 80^0$ ;  $26^0 \leq \gamma_3 \leq 53^0$ ;  $-86^0 \leq \gamma_4 \leq -42^0$ ;  $-45^0 \leq \gamma_5 \leq -21^0$ ;  $7^0 \leq \gamma_6 \leq 29^0$ . Индикатор секторов опасных курсов для "целей", находящихся в пределах заданного расстояния (6 миль) для представленной ситуации показан на рис. 5, б. Тёмно-серым цветом отмечен совокупный по всем судам сектор опасных курсов. Рекомендуемый по этому индикатору курс расхождения со всеми "целями" равен  $81^0$ . Нетрудно установить, что этот маневр не является наилучшим. На рис. 6 приведен для примера рациональный маневр разрешения рассматриваемой ситуации, определенный по меткам порождаемых "целями" ограничений на В-маневр [1].

В реализованных в ЭКНИС "NavCom Voyager" средствах VCASS для выбора маневров курсом, скоростью, курсом и скоростью используются так называемые "конические" опасные секторы относительных

курсов [3, 4]. Эти секторы вычисляются с пренебрежением динамики своего судна, и при выборе его маневра не учитывается расстояние до "целей". Поэтому этому способу присущи такие же недостатки, как и определению маневров в ЭКНИС "Totem Plus" и средствах NAVDEC.

Результаты работы указывают на необходимость повышения качества вырабатываемых ЭКНИС рекомендаций по расхождению с судами. Использование в индикаторе для выбора маневра курсом в ситуациях с несколькими судами границ опасных секторов, вычисленных с учетом инерционности ОС по предложенному алгоритму, повысит качество вырабатываемых ЭКНИС рекомендаций. Разработка методов формирования рекомендаций для разрешения коллизионных ситуаций с несколькими судами в стесненных водах является предметом дальнейшей работы по данному направлению.

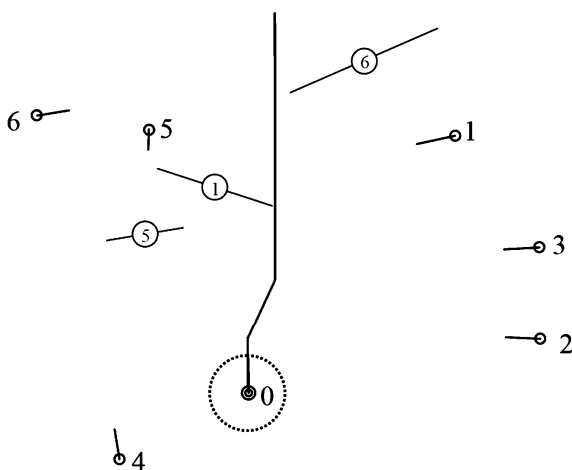


Рис. 6. Рациональный маневр расхождения

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вагущенко Л.Л. Поддержка решений по расхождению с судами /Л.Л. Вагущенко, А.Л. Вагущенко - Одесса: Фенікс, 2010. – 296 с.
2. 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.
3. Pedersen E. Evaluation of a Radar Plot and Display Technique for

Anti-collision Assessment of Multiple Targets in True Vector Representation by Application of the Environmental Stress Model / E. Pedersen, K. Inoue, M. Tsugane //Japan Institute of Navigation. - 2002. – 106. – P. 1 – 12.

4. 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.

5. Pietrzykowski Z. NAVDEC – navigational decision suport system on a sea-going vessel /Z. Pietrzykowski, P. Borkowski, P. Wołajsza // Maritime University of Szczecin, Scientific Journals. - 2012. - 30(102). -P. 102 – 108.

6. Totem COLREGS adviser. Электронный ресурс. <http://www.totemplus.com>