

УДК 629.7.351

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА В ЗАДАЧЕ ПРИОРИТЕТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ГРУППЫ ПИЛОТИРУЕМЫХ И БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ВЫБОРЕ МАРШРУТОВ ПОЛЕТА И КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ ИХ ДВИЖЕНИЯ

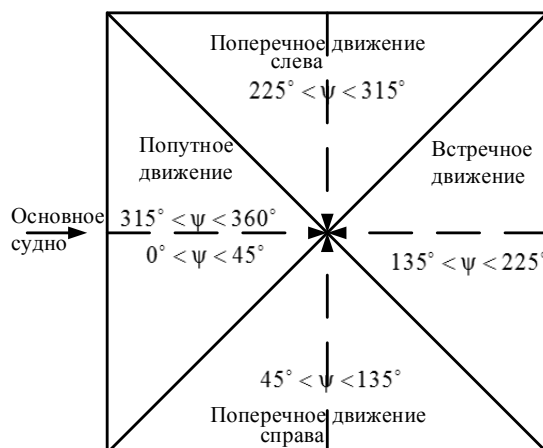
Г.Н. ЛЕБЕДЕВ, В.Б. МАЛЫГИН

Сформулирована задача автоматического контроля сближения воздушных судов (ВС) при попутном, встречном и поперечном движении на пересекающихся курсах. Предложен метод вычисления функции риска столкновения ВС на основе динамического программирования, что позволяет сформировать сигналы тревоги для принятия предупредительных мер по безопасному управлению боковым и продольным движением ВС.

**Ключевые слова:** контроль безопасности, оптимальное управление, летательные аппараты, динамическое программирование, функция риска.

В статье рассматривается общий способ автоматического контроля безопасности как при встрече ВС с неподвижным препятствием, так и при сближении воздушных судов независимо от того, на каких пересекающихся курсах проходит их встреча. При этом предполагается, что результат этого контроля используется для организации активных действий по уклонению от точки встречи.

Для достижения сформулированной цели можно воспользоваться полученными в [1-3] результатами решения задач оптимального управления боковым движением двух судов одновременно с контролем безопасности отдельных типов движений - встречного, поперечного и продольного, как показано на рис. 1 в виде диаграммы.



**Рис. 1.** Диаграмма направлений движения сближающихся судов при различных курсах

Решение задачи осуществляется в следующей последовательности:

- получение формул вычисления функции прогнозируемого риска сближения ВС для каждого типа сближения;
- обобщение формы интегрального функционала качества движения;
- получение закона оптимального управления, заменяющего при моделировании на ЭВМ ручное управление пилотом;
- вычисление функции риска для контроля безопасности для любого случая встречного движения при пересечении курсов под произвольным углом.

\* Работа выполнена при материальной поддержке гранта РФФИ 13-08-00182

Залогом к успешному обобщению имеющихся частных результатов является рассмотрение относительного движения сближающихся ВС при переносе вектора скорости одного судна в точку движения другого, как показано на рис. 2.

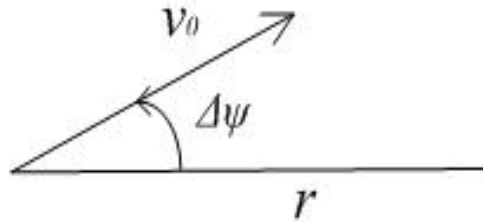


Рис. 2. Картина относительного движения сближающихся судов

На рис. 2 видно, что в конечном счёте полетная ситуация относительного движения двух сближающихся ВС определяется тремя параметрами:

- 1) дистанцией  $r$  между ВС;
- 2) модулем  $v_0$  вектора относительной скорости полета и зависящей от него скоростью сближения  $\dot{r}$ ;
- 3) разницей курсов  $\Delta\psi$ .

Чем больше  $r$  и  $\Delta\psi$ , тем выше безопасность сближения ВС и возможность уклонения их друг от друга при совершении активных действий. При увеличении скорости сближения  $\dot{r}$  эта возможность снижается. Указанные зависимости предстоит установить в количественной форме, понимая при этом под активными действиями уклонение на неизменной высоте. Режим координированного изменения высот ВС при пересечении их курсов не рассматривается, а случаи сближения ВС друг с другом и с неподвижным препятствием анализируются по отдельности.

### АНАЛИЗ ИЗВЕСТНЫХ АЛГОРИТМОВ КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ ВСТРЕЧНОГО, ПОПЕРЕЧНОГО И ПОПУТНОГО ДВИЖЕНИЙ

Как показано в [1], при уклонении от столкновения в случае встречного движения ВС можно использовать следующий интегральный функционал риска возникновения опасности их сближения:

$$J_1 = \int_0^{t_k} f_0(\bar{x}, u, t) dt, \quad (1)$$

$$f_0 = r_0 \frac{u_1^2}{2} + r_1 \frac{(x_1 - m)^2}{2} + r_2 \frac{x_2^2}{2} + \frac{1}{2} \frac{r_3 (x_1 - z + D)^2}{1 + \frac{y^2}{(x_1 + D)^2}}, \quad (2)$$

где  $r_0$ ,  $r_1$ ,  $r_2$  - три коэффициента штрафов.

При оптимальном управлении только боковым движением ВС можно использовать следующий закон линейного управления:

$$U_1 = -\frac{b}{r_0} (\beta_2 + \gamma_2 x_2 + \psi_{12} x_1 + \psi_{23} l_1 + \psi_{24} z + \theta y^2 + p y^2 x_1), \quad (3)$$

где передаточные числа линейного регулятора есть однозначная функция назначенных коэффициентов штрафа  $r_1$  и  $r_2$ .

Также однозначно зависит от этих коэффициентов вычисляемая функция риска  $F_1$ , равная правой части уравнения Беллмана, являющегося согласно методу динамического программирования прогнозируемой функцией штрафов в конце сближения судов:

$$F_1 = -\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = \min_{u_1} \left\{ r_0 \frac{u_1^2}{2} + r_1 \frac{(x_1 - m)^2}{2} + r_2 \frac{x_2^2}{2} + \frac{1}{2} \frac{r_3 (x_1 - z + D)^2}{1 + \frac{y^2}{(x_1 + D)^2}} + \right. \\ \left. + (\beta_1 + \gamma_1 x_1 + \psi_{12} x_2 + \varphi y^2 + \psi_{13} y + p y^2 x_2)(dx_2 + C_1) + (\beta_2 + R_2 v_2 + \gamma_2 x_2 + \psi_{12} x_1 + \right. \\ \left. + (\psi_{23} + R_1 v_2) y + \theta y^2 + p y^2 x_1)(-ax_2 + bu_1) - (\beta_3 + \gamma_3 y + \psi_{13} x_1 + (\psi_{23} + R_1 v_2) x_2 + \right. \\ \left. + 2\theta y x^2 + 2p y x_1 x_2) v_1 \right\}. \quad (4)$$

Заметим, что рассмотренный случай соответствует разнице курсов  $\psi_1 = 180^\circ$ , а конкретные значения  $r_1$  и  $r_2$  равны:

$$r_{1b} = 4; \\ r_{2b} = 100.$$

При синтезе законов оптимального управления и контроля безопасности поперечного движения в [2] был достигнут новый результат - было предложено вместо одноступенчатой оценки риска использовать две ступени контроля безопасности.

### КОНТРОЛЬ БЕЗОПАСНОСТИ СБЛИЖЕНИЯ НА ПЕРВОЙ И ВТОРОЙ СТУПЕНЯХ ОЦЕНКИ РИСКА СТОЛКНОВЕНИЯ ВС

В качестве первоначальной ступени используется вычисление коэффициента  $\theta$  безопасности прямолинейного движения судов при гипотезе об отсутствии с их стороны активных действий (рис. 3):

$$\theta = \left| \frac{L_i - \xi_i}{d} \right| \cdot \left( 1 + \frac{L}{d} \right); \quad 0 \leq \theta \leq 1, \quad (5)$$

где  $L_i$  - дистанция от основного судна до прогнозируемой точки встречи;  
 $\xi_i$  - дистанция от встречного судна до прогнозируемой точки встречи;  
 $d$  - заданная минимальная дистанция безопасного сближения ВС.

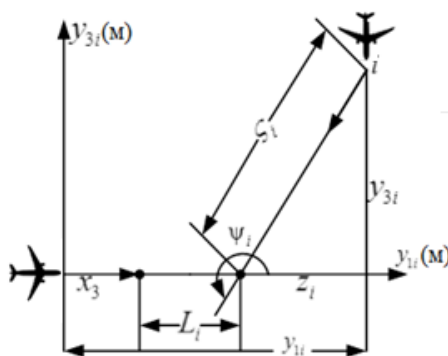


Рис. 3. Картина сближения пары ВС при пересекающихся курсах

Значение  $\theta$  в формуле (5) по смыслу означает, что его безразмерная величина есть поделенное на величину  $d$  ожидаемое значение дистанции в конце сближения при гипотезе о неоптимальном управлении, когда предпринимаются лишь ограниченные меры по уклонению от опасной встречи. Присутствие в (5) дистанции позволяет выбрать наиболее опасным то ВС, которое ближе. Примеры поведения коэффициента  $\theta$  показаны на рис. 4.

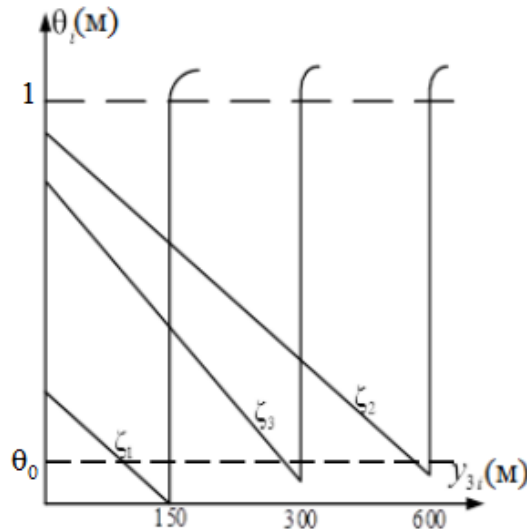


Рис. 4. Графики изменения оценок безопасного сближения основного ВС с тремя соседними при разных пересекающихся курсах

Правила маневрирования сводятся к следующему:

1. Для левого поперечного движения нужно боковое маневрирование обеих ВС вправо, если встречное ВС не достигает прогнозируемой точки встречи (придет в неё позже), в противном случае – оба влево.

2. Для правого поперечного движения нужно боковое маневрирование обеих ВС влево, если встречное судно придет в прогнозируемую точку встречи позже, в противном случае – оба вправо.

Предложенный в [2] подход обладает тем недостатком, что порог  $\theta_0$  назначается экспериментально и, главное, он считается неизменным при любых условиях сближения. В связи с этим рассмотрим иной подход, основанный на понятии промаха  $h$  между судами вблизи точки встречи, являющегося прогнозируемой оценкой минимальной дистанции между ними в процессе сближения при гипотезе об их прямолинейном движении, как показано на рис. 5.

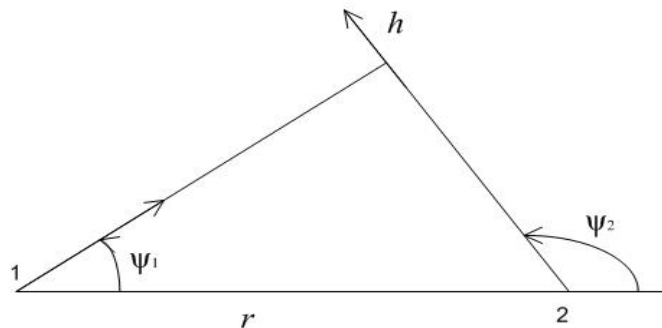


Рис. 5. Картина сближения двух ВС при прямолинейном движении

На рис. 5 точка 1 указывает положение основного судна ВС-1,  $\psi_1$  - курс его полета относительно линии пути, определяющей текущее расстояние  $r$  между судами, точка 2 -

текущее положение сближающегося судна ВС-2, имеющего курс полета  $\psi_2$ . Полетная ситуация на рисунке соответствует случаю правостороннего поперечного движения (ВС-2 сближается справа). Столкновение в этом случае может произойти при условиях:

$$0 < \psi_1 < 180^0, \psi_1 < \psi_2 < 180^0. \quad (6)$$

При этом, если  $\psi_1 < 180^0 - \psi_2$ , то ВС-1 придет в точку встречи позже ВС-2, в противном случае - раньше.

Можно показать, что в случае левостороннего движения (ВС-2 сближается слева), условие возможного столкновения записывается неравенствами:

$$180^0 < \psi_1 < 360^0, \psi_1 > \psi_2 > 180^0. \quad (7)$$

Тогда, если  $360^0 - \psi_1 < \psi_2 - 180^0$ , то ВС-1 также придет позже ВС-2 в точку встречи, в противном случае - раньше.

Условия (6 - 7) нужны для правильного использования правил уклонения, описанных выше.

Сформулируем математические условия безопасности сближения двух судов, когда оценка промаха  $h$  будет больше заданной безопасной дистанции  $D$ . Для этого воспользуемся другой картиной движения ВС, показанной на рис. 6.

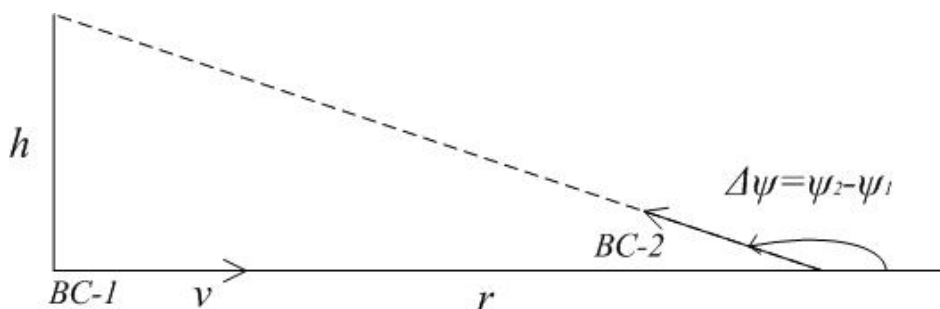


Рис. 6. Картина относительного движения ВС при оценке прогнозируемого промаха

Как принято в системах наблюдения, промах  $h$  можно оценить по формуле:

$$h = \frac{v_n \cdot r}{\dot{r}}, \quad (8)$$

где  $v_n$  - поперечная скорость;  $\dot{r}$  - скорость сближения. Эти параметры можно вычислить по формулам:

$$v_n = v \cdot \sin \Delta\psi; \quad \dot{r} = v - v \cdot \cos \Delta\psi. \quad (9)$$

Отсюда можно вычислить промах  $h$  и, используя условие безопасности  $h > D$ , получить следующие оценки:

$$h = \frac{r \cdot \sin \Delta\psi}{1 - \cos \Delta\psi}; \quad \frac{D}{r} < \frac{\sin \Delta\psi}{1 - \cos \Delta\psi}. \quad (10)$$

Последнее неравенство можно трактовать так - величина  $\frac{D}{r}$  есть текущий коэффициент безопасности  $\theta$ , а  $\frac{\sin \Delta \psi}{1 - \cos \Delta \psi}$  - есть порог  $\theta_0$ , назначенный в зависимости от условий сближения - разности курсов  $\Delta \psi$ .

В качестве второй ступени контроля при гипотезе об оптимальном поведении судов при их уклонении от встречи так же, как и в случае встречного движения, использовался интегральный функционал риска  $J_2$  следующего вида:

$$J_2 = \int_0^{t_k} f_0(\bar{x}, u, t) dt, \quad (11)$$

$$\text{где } f_0 = r_0 \frac{u^2}{2} + r_1 \frac{x_1^2}{2} + r_2 \frac{x_2^2}{2} + M(y_1) \frac{(x_1 + C_0 - D)^2}{2}.$$

В результате синтеза оптимального управления боковым движением получен следующий закон:

$$U_2 = -b(\beta_2 + \gamma_2 x_2 + \psi_{12} x_1 + \psi_{23} y + \theta y^2 + p y^2 x_1). \quad (12)$$

При этом вычисляемая функция риска  $F_2$ , однозначно зависящая от назначенных весовых коэффициентов штрафа  $r_1$  и  $r_2$ , равна:

$$\begin{aligned} F_2 = -\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = \min_{u_1} \left\{ r_0 \frac{u_2^2}{2} + r_1 \frac{(x_1 - m)^2}{2} + r_2 \frac{x_2^2}{2} + \frac{1}{2} \frac{r_3 (x_1 - z + D)^2}{1 + \frac{y^2}{(x_1 + D)^2}} + \right. \\ \left. + (\beta_1 + \gamma_1 x_1 + \psi_{12} x_2 + \varphi y^2 + \psi_{13} y + p y^2 x_2)(dx_2 + C_1) + \right. \\ \left. + (\beta_2 + \gamma_2 x_2 + \psi_{12} x_1 + \psi_{23} y + \theta y^2 + p y^2 x_1)(-ax_2 + bu_2) - \right. \\ \left. - (\beta_3 + \gamma_3 y + \psi_{13} x_1 + \psi_{23} x_2 + 2\theta y x^2 + 2p y x_1 x_2) v_1 \right\}. \end{aligned} \quad (13)$$

При этом в рассмотренном случае средняя разница в курсах двух воздушных судов  $\psi_2 = 90^\circ$ , а конкретные значения  $r_1$  и  $r_2$  равны:

$$\begin{aligned} r_{1n} &= 1; \\ r_{2n} &= 16; \end{aligned} \quad (14)$$

В третьем случае попутного движения [3] второй ступени контроля безопасности соответствуют формулы для  $J_3$ ,  $U_3$  и  $F_3$ , считая при этом, что  $\psi_3 = 0^\circ$ .

$$J_3 = \int_0^{t_k} f_0(\bar{x}, u, t) dt, \quad (15)$$

$$\text{где } f_0 = r_0 \frac{u_3^2}{2} + r_1 \frac{1}{2} [(l_1 - x_1) - (D + Nw_2)]^2 + r_2 \frac{1}{2} (x_2 - w_2)^2 + M_2 (x_2 - w_2) - M_1 (l_1 - x_1),$$

$$U_3 = -\frac{b}{r_0}(\beta_2 + \gamma_2 x_2 + \psi_{12} x_1 + \psi_{23} l_1); \quad (16)$$

$$F_3 = \frac{r_1(x_1 + D - l_1)^2}{2} + r_2 \frac{(x_2 - l_2)^2}{2} - \frac{u_3^2}{2}. \quad (17)$$

Сравнительный перечень результатов аналитического решения задачи управления и контроля безопасности позволяет провести обобщение алгоритмов контроля безопасности для произвольного случая встречи сближающихся ВС.

### ОБОБЩЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ СБЛИЖЕНИЯ ВС ПРИ ГИПОТЕЗЕ ОБ ИХ ОПТИМАЛЬНОМ ПОВЕДЕНИИ

Так как формулы (1 - 4), (11 - 14) и (15 - 17) однотипны и отличаются только назначенными весовыми коэффициентами штрафов  $r_1$  и  $r_2$ , проведем линейную аппроксимацию их зависимости от разности курсов по формулам:

$$\begin{aligned} r_1 &= a_1 + b_1 \Delta \psi; \\ r_2 &= a_2 + b_2 \Delta \psi. \end{aligned} \quad (18)$$

Воспользовавшись лишь числовыми данными в (4) и (14), можно получить нужные оценки коэффициентов  $a_1, b_1, a_2, b_2$ :

$$\begin{aligned} b_1 &= \frac{r_{1b} - r_{1n}}{\Delta \psi_1 - \Delta \psi_2}; \quad a_1 = \frac{r_{1n} \Delta \psi_1 - r_{1b} \Delta \psi_2}{\Delta \psi_1 - \Delta \psi_2}; \\ b_2 &= \frac{r_{2b} - r_{2n}}{\Delta \psi_1 - \Delta \psi_2}; \quad a_2 = \frac{r_{2n} \Delta \psi_1 - r_{2b} \Delta \psi_2}{\Delta \psi_1 - \Delta \psi_2}. \end{aligned} \quad (19)$$

Из сравнения полученных значений  $r_1$  и  $r_2$  оказалось, что их отношение при увеличении падает.

Итоговая функция риска  $F$  должна вычисляться по формуле:

$$F = f_0^* - 0.5b^2(u_{0\text{опт}}^2 + u_{i\text{опт}}^2), \quad (20)$$

где  $f_0^*$  определена в (2).

Из (20) следует, что при отсутствии принятых мер функция риска максимальна, а при увеличении дистанции между ВС она уменьшается. Минимум функции риска возникает при координированном уклонении двух ВС от прогнозируемой точки встречи. Сравнивая её с заданным порогом  $F_0$ , можно, в случае его превышения, сформировать сигнал аварийной тревоги, требующий экстренного изменения скорости движения. На рис. 7 представлена двухуровневая структура, объединяющая процессы контроля и безопасности при организации уклонения сближающихся ВС друг от друга.

При моделировании на ЭВМ рассматривалось движение четырех ВС - основного и трех сближающихся с ним встречных на разных пересекающихся курсах, при этом первое ВС

сближается на поперечном курсе, второе - на курсе, близком к попутному, третье - на встречном курсе (рис. 8, 9).

Двухуровневая система контроля и управления моделировалась полностью при  $\theta_0 = 0,2; F_0 = 10^3$ , причем первое встречное ВС обнаруживается слишком близко. Поэтому дается команда обоим ВС поворачивать вправо и повысить скорость основному ВС. Оказалось, что минимальное расстояние при сближении стало равно  $7000 \text{ м}$  и превысило заданный порог  $d = 6000 \text{ м}$ . Вторым по приоритету опасности оказалось третье ВС. Анализ прямолинейного движения этих ВС показал, что основное судно опередит в точке встречи третье ВС на  $1000 \text{ м}$ , поэтому оба ВС должны поворачивать вправо, и этот маневр обеспечивает их уклонение друг от друга на  $8000 \text{ м}$ . Последним встречным судном является второе ВС, их условия сближения показывают, что им обоим нужно поворачивать влево без изменения скорости.

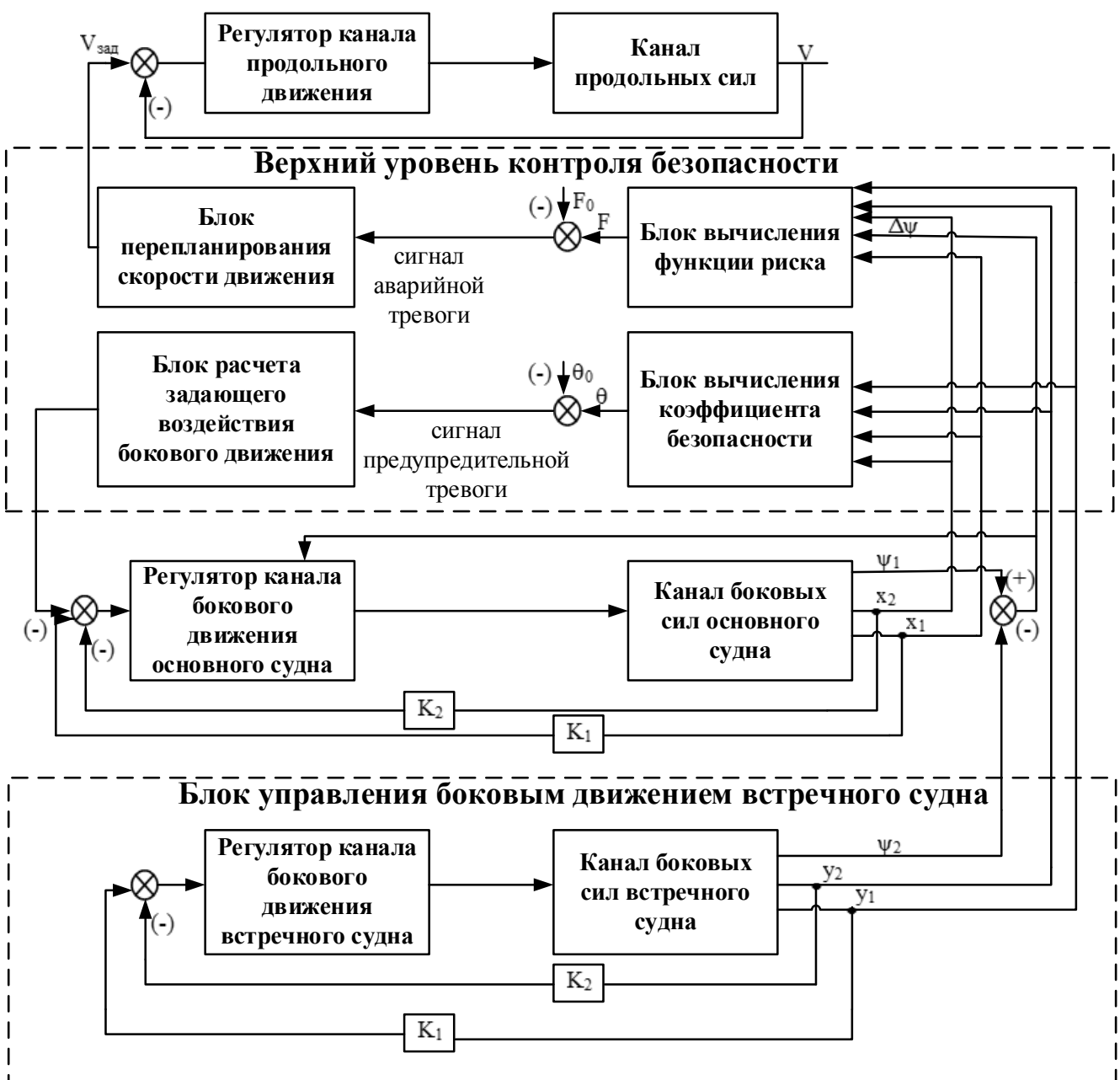


Рис. 7. Двухуровневая структура контроля и управления безопасным сближением двух ВС



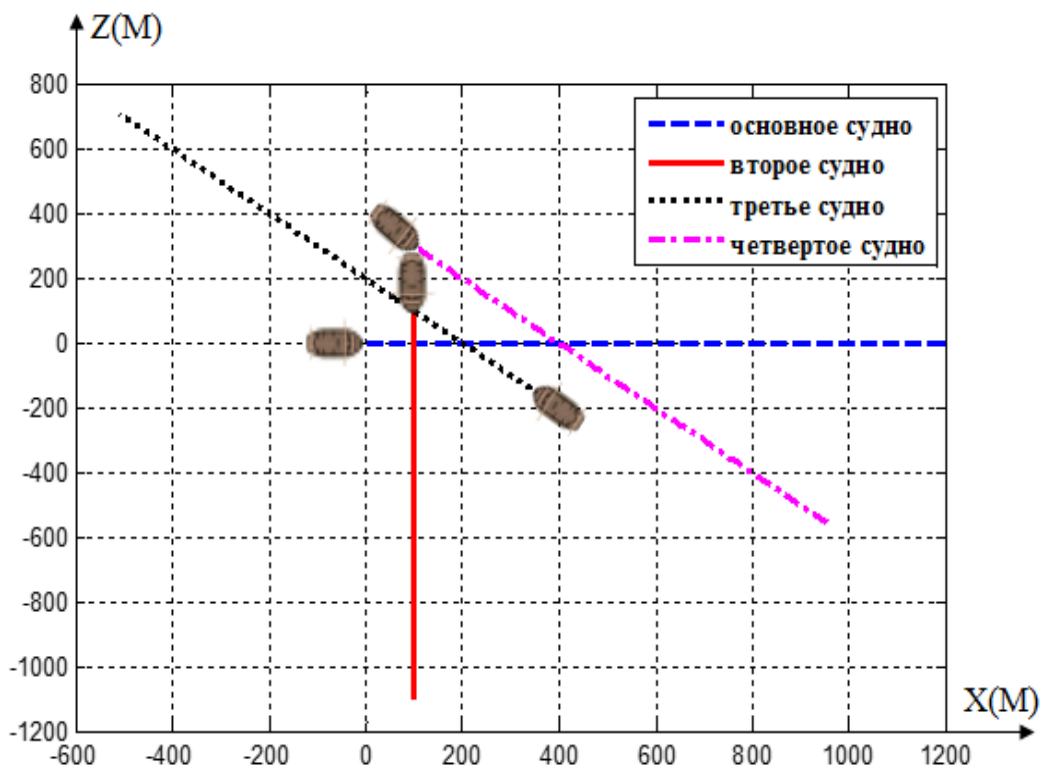


Рис. 8. Картина возможных неизбежных столкновений основного ВС с тремя другими, движущимися на поперечных курсах при  $u_0 = u_i = 0$

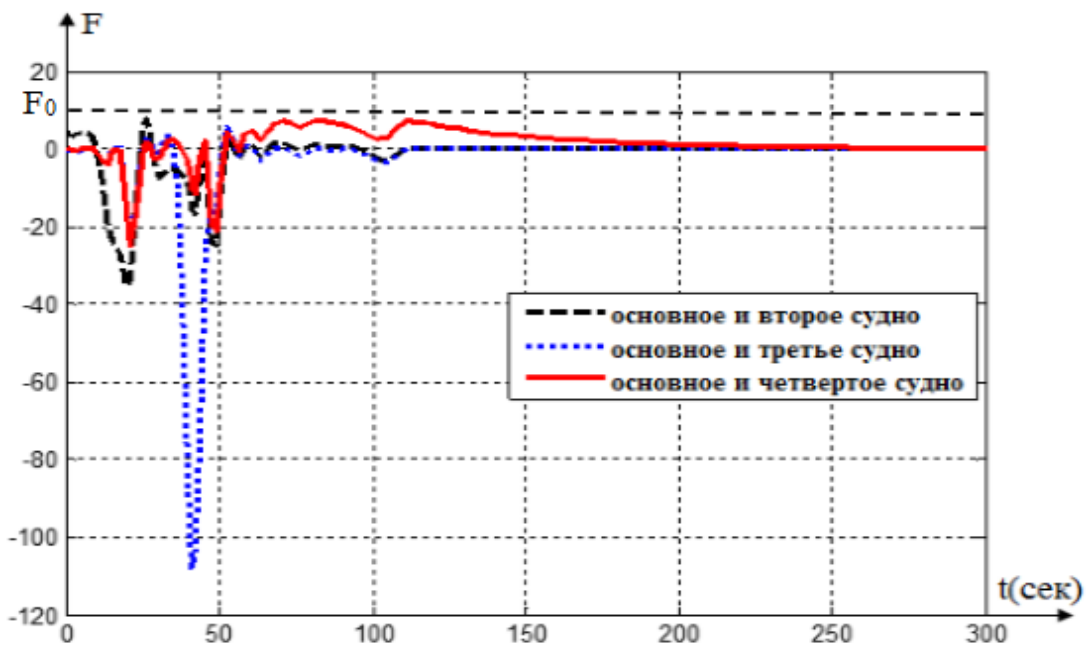


Рис. 9. Функции риска при управлении боковым движением ВС

Итоговые траектории маневрирующих судов представлены на рис. 10.

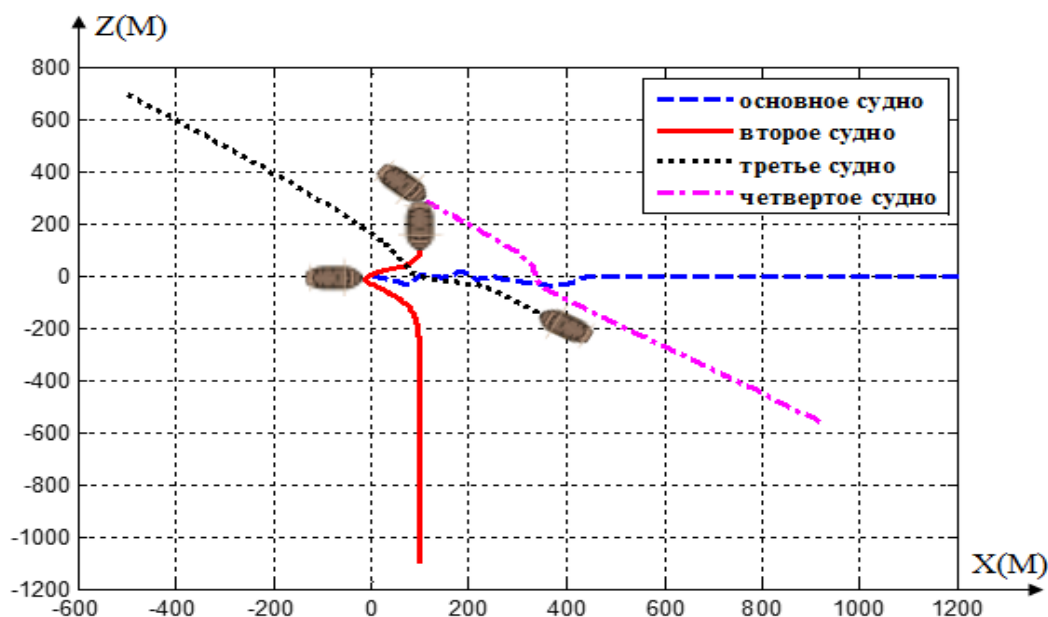


Рис. 10. Траектории четырех ВС при управлении боковым движением

Видно, что после уклонения от опасных точек встречи суда возвращаются к прямолинейному движению по заданным курсам.

### КОНТРОЛЬ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУШНОГО СУДНА ПРИ ВСТРЕЧЕ С НЕПОДВИЖНЫМ ПРЕПЯТСТВИЕМ В ВИДЕ ЛОКАЛЬНОЙ ЗАПРЕТНОЙ ЗОНЫ

При анализе встречи с неподвижным препятствием лучше воспользоваться рассмотрением чисто относительного движения, как это показано на рис. 2, считая для разных типов сближения наиболее важным параметром не разность курсов, а скорость сближения ВС с препятствием.

Вначале рассмотрим задачу оценки риска на первой ступени контроля безопасности. По аналогии с ситуацией сближения ВС можно записать следующие формулы для оценки конечного промаха  $h$ , считая при этом, что условие столкновения возможно при  $0 < \Delta\psi < 90^\circ$ :

$$h = \frac{v_n \cdot r}{\dot{r}};$$

$$\dot{r} = v \cdot \cos \Delta\psi;$$

$$v_n = v \cdot \sin \Delta\psi.$$
(21)

Тогда с учетом требования  $h > D$  для обеспечения безопасности облёта препятствия можно записать:

$$\frac{D}{r} < \operatorname{tg} \Delta\psi,$$
(22)

где  $\frac{D}{r}$  есть текущее значение  $\theta$  коэффициента безопасности;  $\operatorname{tg} \Delta\psi$  - есть порог  $\theta_0$ , назначенный в зависимости от разности  $\Delta\psi$  между курсом ВС и курсом на центр препятствия.

Теперь рассмотрим задачу контроля безопасности на второй ступени.

Нужные весовые коэффициенты  $r_1$  и  $r_2$  можно аппроксимировать следующим образом:

$$\begin{aligned} r_1 &= c_1 + d_1 \cdot \dot{r}(R); \\ r_2 &= c_2 + d_2 \cdot \dot{r}(R), \end{aligned} \quad (23)$$

где значение скорости сближения  $\dot{r}$  оценено вблизи границ препятствия на некотором заданном, заранее назначенном расстоянии  $R$  до центра препятствия.

В этом случае по аналогии с формулами (19) можно получить нужные оценки коэффициентов  $c_1, d_1, c_2, d_2$  в следующем виде:

$$\begin{aligned} d_1 &= \frac{r_{1b} - r_{1n}}{v - 0,7 \cdot v}; & c_1 &= \frac{r_{1n} \cdot v - r_{1b} \cdot 0,7 \cdot v}{0,3 \cdot v}; \\ d_2 &= \frac{r_{2b} - r_{2n}}{0,3 \cdot v}; & c_2 &= \frac{r_{2n} \cdot v - r_{2b} \cdot 0,7 \cdot v}{0,3 \cdot v}. \end{aligned} \quad (24)$$

Из сравнения полученных значений  $r_1$  и  $r_2$  в формуле (23) оказалось, что их отношение с увеличением скорости сближения также падает.

Представленные в данной работе оценки весовых коэффициентов вычисляются заранее до полета. В самом полете вычисление итоговой функции риска  $F$  по формуле (20), как и коэффициента безопасности  $\theta$ , не представляет сложности и может быть осуществлено в режиме реального времени.

### **КОНТРОЛЬ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ**

В случае совместных полетов пилотируемой и беспилотной авиации задача контроля безопасности воздушного движения стоит особенно остро, т.к. на борту беспилотного летательного аппарата (БЛА) человека нет. Также эта задача актуальна при полете группы БЛА в следующих случаях:

- группа БЛА должна лететь в строю, не сближаясь друг с другом;
- несколько БЛА летят автономно по своим маршрутам, которые пересекаются;
- группа БЛА подлетает к месту посадки, в том числе одновременно с пилотируемыми

ВС, осуществляющими как прилет, там и вылет.

Для обеспечения автоматического контроля безопасности сближающихся БЛА и ВС и последующего управления их уклонением друг от друга необходимо иметь в распоряжении:

- бортовые средства радиосвязи между объектами с определенным радиусом действия для передачи соседям своих координат местоположения  $x$  и  $z$ , высоты полета  $h$ , курса  $\psi$  и скорости полета;

- бортовой блок пересчета полученных в земной системе координат в параметры относительного сближения в системе координат, соответствующей заданной линии пути для каждого объекта;

- блок двухступенчатого контроля безопасности сближения, реализующий оценку риска столкновения по формулам, представленным выше и имеющим универсальный вид.

Кроме указанных технических средств бортового оборудования для повышения безопасности посадки БЛА на аэродромах необходимо предусмотреть:

- заход на посадку на высоте, отличающейся от посадочной высоты пассажирских ВС;
- отдельную зону ожидания в стороне от места посадки в случае отказа в разрешении самой посадки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Предложенная классификация типов взаимного движения двух сближающихся ВС обеспечивает выбор нужных способов дополнительного маневрирования для устранения угрозы их столкновения.

2. Сформирован закон управления боковым движением каждого из двух ВС, если они сближаются на пересекающихся курсах под произвольным углом. Сформулированы новые правила уклонения при сближении двух ВС:

- для левого поперечного движения нужно боковое маневрирование обоих ВС вправо, если встречное судно не достигает прогнозируемой точки встречи (придет в неё позже), в противном случае – оба влево;

- для правого поперечного движения нужно боковое маневрирование обеих ВС влево, если встречное ВС придет в прогнозируемую точку встречи позже, в противном случае – оба вправо.

3. Предложено вычисление функции риска опасного сближения ВС с помощью правой части уравнения Беллмана. Это позволяет сформировать сигнал аварийной тревоги. Если функция риска больше порога, тогда судно начинает экстренно менять скорость движения.

4. Предложена двухступенчатая оценка безопасности сближения ВС с неподвижным препятствием и показано, что ее вычисление не представляет сложности и может быть осуществлено в режиме реального времени.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лебедев Г.Н., Чан Ван Туен, Китаев А.Н. Совместное управление и контроль безопасности полета воздушных судов при их сближении // Вестник МАИ. 2011. Т. 18. № 3. С. 29-35.

2. Ву Суан Хыонг, Зайцев А.В., Зо Мин Тайк, Тин Пхон Чжо. Автоматический контроль безопасности сближения двух управляемых воздушных судов при пересечении их маршрутов // Научный вестник МГТУ ГА. 2013. № 198. С. 51-59.

3. Лебедев Г.Н., Тин Пхон Чжо, Зо Мин Тайк. Система обеспечения безопасности при попутном движении воздушных или речных судов и пересечении их маршрутов // Известия Тульского государственного института. Тула. 2012. № 7. С. 246– 254.

## INTELLECTUAL SUPPORT IN THE TASK PRIORITY SERVICE GROUPS MANNED AND UNMANNED AIRCRAFT IN THE CHOICE OF ROUTES AND CONTROL THE SECURITY OF THEIR MOVEMENT

**Lebedev G.N., Malygin V.B.**

The problem of automatic control of rapprochement of aircrafts at the passing, oncoming and cross movements on intersecting courses is formulated. The method of function evaluation of risk of collision of courts on the basis of dynamic programming that allows creating alarm signals for acceptance of precautionary measures for safe management of the lateral and longitudinal motion of the aircraft is offered.

**Key words:** safety of flight control, optimal management, aircrafts, dynamic programming, risk function.

## REFERENCES

1. **Lebedev G.N., Tran Van Tuyen, Kitaev A.N.** Joint management and control of flight safety aircraft when they approach. // Vestnik MAI. 2011. Vol. 18. No. 3. Pp. 29-35.
2. **Vu Xuan Huong, Zaitsev A.V. Zaw Min, Talk, Tin Jo.** the Automatic safety control approach of two managed aircraft crossing their routes // Scientific Bulletin of MSTUCA. 2013. No. 198. Pp. 51-59.
3. **Lebedev G.N., Tin: Jo, Zaw Min Talk.** Security system with a fair movement of air and sea vessels and the intersection of their routes // Izvestiya of the Tula state Institute. Tula. 2012. No. 7. Pp. 246–254.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Лебедев Георгий Николаевич**, 1936 г.р., окончил МИФИ (1959), доктор технических наук, профессор кафедры системы автоматического и интеллектуального управления Московского авиационного института (национального исследовательского университета), автор 150 научных работ, область научных интересов – системы автоматического и интеллектуального управления, методы оптимизации и динамическое программирование.

**Малыгин Вячеслав Борисович**, 1960 г.р., окончил ОЛАГА (1983), начальник учебно-тренажерного центра кафедры управления воздушным движением МГТУ ГА, автор 18 научных работ, область научных интересов – автоматизация управления прилетом – вылетом AMAN-DMAN.