

УДК 629.7.351

МЕТОД СНИЖЕНИЯ КОНФЛИКТНОСТИ НА СТАНДАРТНЫХ МАРШРУТАХ ВЫЛЕТА И ПРИБЫТИЯ*

В.Б. МАЛЫГИН, Е.Е. НЕЧАЕВ

В статье предлагается метод организации стандартных маршрутов вылета и прибытия, позволяющий значительно снизить показатели конфликтности между воздушными судами (ВС).

Ключевые слова: стандартный маршрут (SID, STAR), зональная навигация, многотракторный маршрут.

В настоящее время для организации вылета из крупных аэропортов используется ограниченное количество стандартных маршрутов. В силу неоднородности потока вылетающих воздушных судов из-за различных тактико-технических характеристик самолетов, а также различий во взлётных массах, зависящих от особенностей рейса, возникают потенциальные конфликты между воздушными судами, вылетающими по одному и тому же маршруту. Это обстоятельство создаёт немало проблем для авиадиспетчера и не позволяет регулировать вылетающий поток воздушных судов только интервалом по взлёту ($\Delta t_{\text{взл}}$).

Предлагается метод организации потока вылетающих воздушных судов, значительно снижающий вероятность наступления потенциально-конфликтной ситуации для данных обстоятельств (т.е. нарушений установленных интервалов продольного ℓ и вертикального h эшелонирования).

В качестве исходных данных принято множество объектов движения с различными поступательными и вертикальными скоростями W_i и V_i с дискретностью ΔW и ΔV , при этом в целях приближения математической модели к реальному процессу считается, что различаться скорости воздушных судов не могут более чем на удвоенную величину соответствующей дискретности:

$$W_{\max} = W_{\min} + 2\Delta W; \quad V_{\max} = V_{\min} + 2\Delta V. \quad (1)$$

Для данных условий задачи предлагается пять ВС (табл. 1), которые наиболее полно отражают тактико-техническое состояние участников движения в случайно выбранный момент времени, два из них с максимальными тяговыми возможностями, два - со средними и одно - с минимальными.

Таблица 1

| | | |
|-----|------------------------|------------------------|
| BC1 | W_{\max} | V_{\max} |
| BC2 | W_{\max} | $V_{\max} - \Delta V$ |
| BC3 | $W_{\max} - \Delta W$ | $V_{\max} - \Delta V$ |
| BC4 | $W_{\max} - \Delta W$ | $V_{\max} - 2\Delta V$ |
| BC5 | $W_{\max} - 2\Delta W$ | $V_{\max} - 2\Delta V$ |

Маршрут движения представляет собой линию, разделённую на 6 участков длиной ℓ , где происходит разворот на 180° после взлета на первом участке, далее воздушные суда движутся по прямой линии с набором высоты (рис. 1). В зависимости от вертикальных скоростей набора на выходе маршрута предусмотрены 3 различные высоты (эшелона fl1, fl2, fl3).

*Работа выполнена при материальной поддержке РФФИ (грант № 13-08-00182).

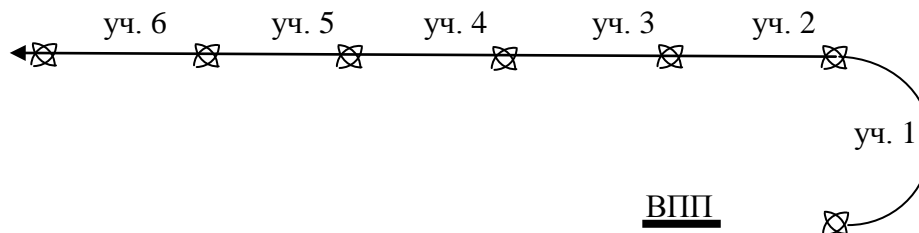


Рис. 1

Участок 1 считается бесконфликтным, т.к. интервал времени между взлётами $\Delta t_{\text{взл}}$ предполагает выдерживание интервала ℓ .

Сформулируем правила безопасности для каждого воздушного судна. Из табл. 2 видно, что первое воздушное судно представляет опасность после взлёта для взлетевших ранее ВС4 и ВС5 на втором и третьем участках маршрута, т.к. имеет большую поступательную скорость и для ВС3 на втором, третьем и четвертом участках, т.к. на пятом и шестом участках будет выдерживаться безопасный вертикальный интервал. Аналогично для остальных воздушных судов. Считаем, что ВС5 не представляет опасности после взлета для любых ранее взлетевших ВС, также как и ВС1, ВС2 не представляют никакой опасности, взлетая первым или вторым номером.

Таблица 2

| № ВС | Уч. 2 | Уч. 3 | Уч. 4 | Уч. 5 | Уч. 6 |
|------|---------|---------|---------|-------|-------|
| 1 | 3, 4, 5 | 3, 4, 5 | 3 | | |
| 2 | 3, 4, 5 | 3, 4, 5 | 3, 4, 5 | 3 | 3 |
| 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | |
| 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |

Для данных условий можно предложить всего $5!$ возможных вариантов порядка вылета, т.е. 120 ситуаций. Принимаем равномерное распределение случайной величины. Так, например, случайно выбранный порядок вылета (3; 5; 1; 4; 2) создаёт ситуацию, представленную в табл. 3. В ячейках таблицы указаны номера воздушных судов, с которыми возможна потенциально-конфликтная ситуация (ПКС).

Таблица 3

| № ВС | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------|---|---|------|------|---|---|
| ВС3 | | | | | | |
| ВС5 | | | | | | |
| ВС1 | | 5 | 3, 5 | 3 | | |
| ВС4 | | | 5 | 5 | 5 | 5 |
| ВС2 | | 4 | 4 | 4, 5 | 3 | 3 |

Вероятность возникновения ПКС для данной ситуации равна $14/30$ или $0,47$. В данном случае учтено, что для ВС4 второй участок маршрута является бесконфликтным, т.к. после ВС5 был промежуточный вылет ВС1.

Аналогичным образом в табл. 4 произведена оценка оставшихся 119 ситуаций и получено среднее значение вероятности возникновения ПКС для маршрута $P_{\text{ПКС}} = 0,309$.

Данное значение вероятности возникновения ПКС для однотоекторного маршрута вылета вполне соответствует реальному положению дел, причём на практике задача предотвращения ПКС лежит на авиадиспетчере.

Современные методы организации воздушного пространства позволяют значительно снизить этот вероятностный показатель за счет использования функционала зональной навигации. Так использование функции самолетного компьютера (полет с заданным курсом до занятия заданной высоты на определенном сегменте маршрута) позволяет создать многотраекторный маршрут вылета, в котором различия в тактико-технических данных воздушных судов эффективно используются для снижения вероятности возникновения ПКС.

Пример такого маршрута для западного и северного направлений представлен на рис. 2.

После взлета на первом участке маршрута экипаж ВС устанавливает определенный курс следования до занятия высоты H , после чего поворачивает на конечную точку маршрута и следует на неё с набором высоты. На практике высоту (эшелон) выхода задаёт диспетчер с учетом тактико-технических возможностей воздушного судна с учётом пожеланий экипажа.

По аналогии с описанием однотоаекторного маршрута считаем первый участок бесконфликтным за счет наличия интервала по взлёту, а остальные участки оценим на вероятность ПКС для типичного потока ВС (табл. 4).

Таблица 4

| № ВС | Уч. 2 | Уч. 3 | Уч. 4 | Уч. 5 | Уч. 6 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | | | | | |
| 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 3 | | | | | |
| 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |

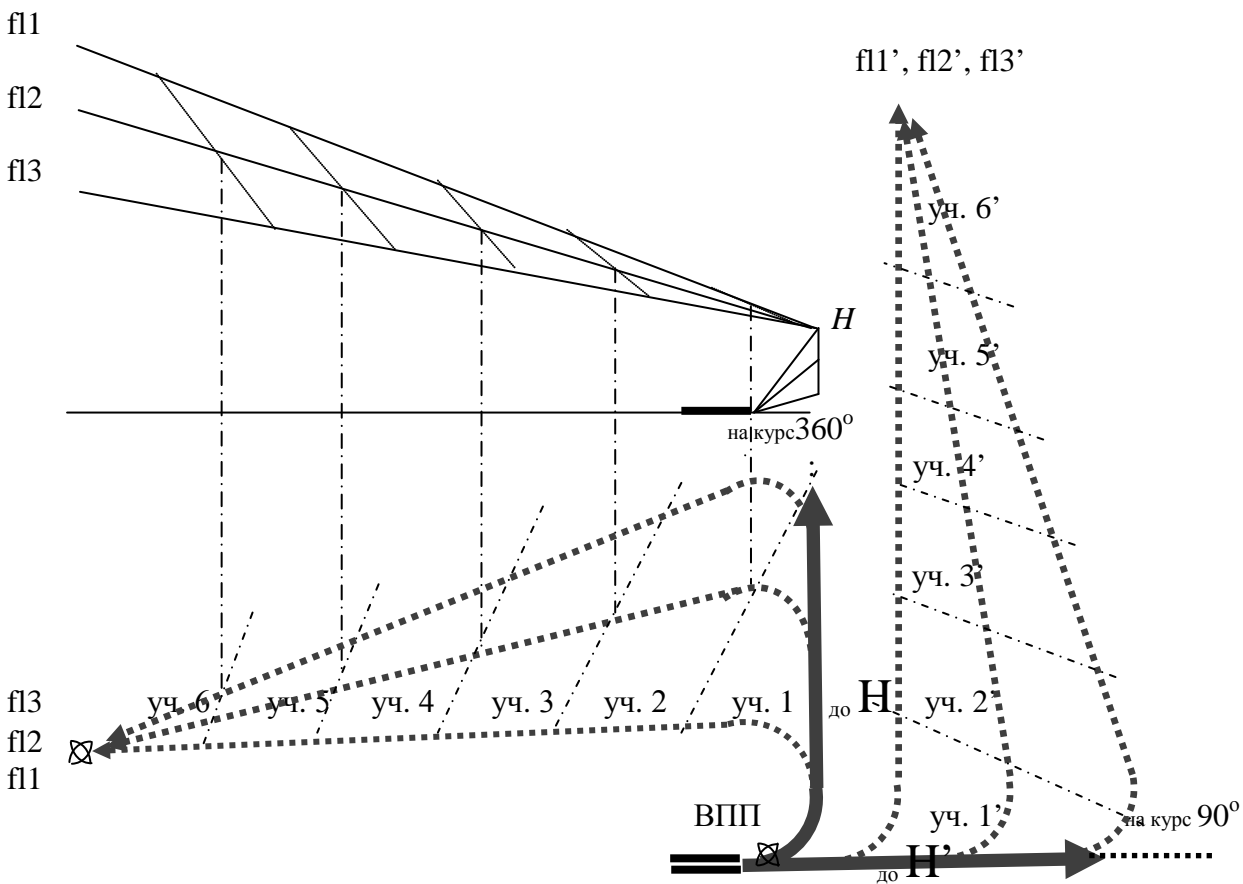


Рис. 2

По данным табл. 4 видно, что тип ВС1 не конфликтует с остальными при вылете, т.к. момент набора высоты H для других типов ВС наступает позже, что создаёт условия для возникновения бокового безопасного интервала. Тип ВС2 конфликтует только с типом ВС3, а тип ВС4 конфликтует только с типом ВС5. Для знакомой ситуации (3; 5; 1; 4; 2) номера воздушных судов, с которыми возможна ПКС, представлены в табл. 5.

Таблица 5

| № ВС | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------|---|---|---|---|---|---|
| ВС3 | | | | | | |
| ВС5 | | | | | | |
| ВС1 | | | | | | |
| ВС4 | | | 5 | 5 | 5 | 5 |
| ВС2 | | | | | 3 | 3 |

Вероятность ПКС на многотраекторном маршруте для данной ситуации равна $6/30$.

По сравнению с однотраекторным маршрутом значение P' меньше в 2,3 раза.

В целом оценка вероятности возникновения ПКС для многотраекторного маршрута соответствует значению $P'_{ПКС} = 0,13$, что в 2,35 раз ниже однотраекторной структуры маршрута.

Результат, полученный путем сравнения двух различных типов организации структуры маршрутов вылета, имеющих одинаковые цели, показывает значительные преимущества в области безопасности полетов (около 2,5 раз) при многотраекторном принципе построения маршрута по сравнению с однотраекторным.

Аналогичные преимущества при использовании конструктора зональной навигации появляются и на маршрутах прилёта. Так на рис. 3 представлен стандартный маршрут прибытия FK25A, описанный по правилам зональной навигации в табл. 6.

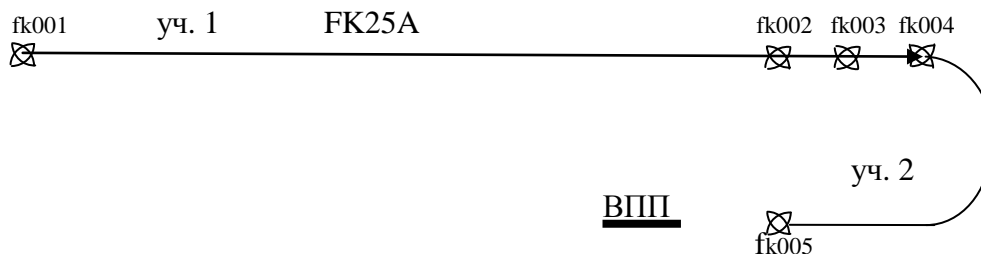


Рис. 3

Таблица 6

| Название стандартного маршрута прибытия | FK25A | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| Название точки (WP) | fk001 | fk002 | fk003 | fk004 | fk005 |
| Тип участка маршрута | TF | TF | TF | TF | |

Недостатком такой конструкции стандартного маршрута прибытия является его высокая конфликтность при схождении нескольких воздушных судов в одно и то же время на разных эшелонах на точку fk001. В этом случае автоматически выполнять маршрут со снижением и заходом на посадку имеется возможность только у одного ВС - самого нижнего. Для остальных воздушных судов потребуется «ручное управление», т.е. получение команд от авиадиспетчера на изменение курса и высоты полета.

По аналогии с предлагаемым способом конструирования стандартного маршрута вылета можно значительно снизить конфликтность внутри маршрута FK25A, применив тип участка маршрута СА конструктора зональной навигации.

Предположим на точку fk001 выделено три эшелона для прибытия на конкретный аэродром (fl300.fl280.fl260), а на точку fk005 необходимо выйти на fl60, далее снижение и заход на посадку по командам диспетчера. Для снижения конфликтности стандартного маршрута в связи с возможной ситуацией «догона» при помощи конструктора зональной навигации создадим боковой интервал между траекториями воздушных судов, выходящих на точку fk001 на разных эшелонах. Для этого необходимо учесть путевую (W) и вертикальную (V) скорости снижения. После пролета точки fk001 до занятия эшелона 280 зададим магнитный курс МК 070, до занятия эшелона 260 зададим МК 080, до занятия эшелона 60 зададим МК 090, далее следовать командам диспетчера.

На рис. 4 представлен многотраекторный маршрут FK25A с его описанием в табл. 7.

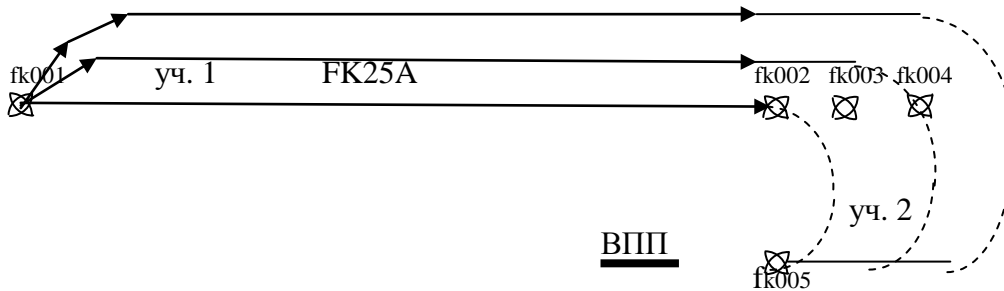


Рис. 4

Таблица 7

| | | |
|---|---|-------|
| Название стандартного маршрута прибытия | FK25A | |
| Название точки (WP) | fk001 | fk005 |
| Тип участка маршрута | CA W, V (МК070, fl280), (МК080, fl260), (МК090, fl60) | MF |

В обоих случаях (рис. 2, 4) используется одинаковый принцип конструирования маршрута полёта - следовать с заданным курсом от заданной точки до занятия заданной высоты, который значительно снижает показатель конфликтности маршрутов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Doc 9613-AN/937.** Руководство по требуемым навигационным характеристикам (RNP). - 2-е изд. - Монреаль: ИКАО, 1999.
2. Рекомендации по подготовке ВС и эксплуатантов ГА России к полётам в системе точной зональной навигации P-RNAV в Европейском регионе по требованиям RNP 1: приложение к распоряжению Минтранса России от 04.02.2003 г. №НА-21-р.

METHOD OF REDUCING CONFLICTS ON STANDART DEPARTURE AND ARRIVAL ROUTES

Malygin V.B., Nechaev E.E.

The article presents the method of reducing conflicts between aircraft after take-off for departure and between arriving aircraft.

Keywords: the standard route (SID, STAR), area navigation, route megatrajectory.

Сведения об авторах

Малыгин Вячеслав Борисович, 1960 г.р., окончил УВАУ ГА (1988), доцент кафедры управления воздушным движением МГТУ ГА, автор 7 научных работ, область научной деятельности – аэронавигационное обслуживание и использование воздушного пространства.

Нечаев Евгений Евгеньевич, 1952 г.р., окончил НЭТИ (1974), профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой управления воздушным движением МГТУ ГА, автор более 180 научных работ, область научных интересов – теория УВД, радиолокация, радионавигация, теория и техника СВЧ измерений.