

Введение

Дисциплина «Организация воздушного движения» является специальной дисциплиной учебного плана подготовки специалистов 160905 – «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования».

По учебному плану специальности 160905 дисциплина «Организация воздушного движения» предусматривает проведение практических занятий в объеме 16 часов для студентов дневного обучения и 4 часа для студентов заочного обучения, т.е. 8 и, соответственно, 2 занятия при объеме практического занятия 2 часа. Возможны варианты, когда практическое занятие составляет более двух часов. Поэтому в предлагаемом пособии описываются 8 практических занятий, из которых 2 занятия могут быть использованы для заочного факультета.

Содержание тем практических занятий, в основном, соответствует содержанию учебного пособия [3]. Кроме того, при составлении заданий по выполнению практических занятий использовались другие учебные пособия, список которых приведен в конце данной работы.

Методическое пособие построено следующим образом. Сначала используется теоретический материал в соответствии с темой конкретного практического занятия, далее предлагается задание для выполнения конкретных расчетов по указанной теме. Другими словами, для выполнения расчетов не требуется использования какой-либо иной литературы, кроме самого пособия по проведению практических занятий. Само выполнение расчетов обязательно требует применение либо микрокалькулятора, либо других электронно-вычислительных систем (микро-ЭВМ, ноутбук и т.д.)

Таким образом, сначала предлагается тема практических занятий, которая может содержать не одно практическое занятие, а более, т.е. 2 или 3 занятия, рассматривающие различные аспекты сформулированной темы. При этом номер практического занятия (ПЗ) будет записываться, например, как ПЗ-2.2, т.е. тема № 2, практическое занятие № 2 в данной теме и т.д.

Нумерация рисунков в пособии сквозная по всему содержанию, а нумерация формул ведется в пределах каждой темы ПЗ.

Тема № 1. Определение пропускной способности элемента воздушного пространства.

ПЗ-1.1. Постоянная скорость движения воздушных судов.

Элементы воздушного пространства (ВП) определены в Воздушном кодексе РФ и подробно рассматриваются в лекционном материале дисциплины «Организация воздушного движения». Здесь при проведении практических занятий за основу в качестве элемента ВП возьмем сектор управления воздушным движением (УВД), т.е. ВП, находящееся под непосредственным контролем диспетчера УВД.

Пропускная способность сектора УВД R есть максимально допустимая интенсивность воздушного движения (ВД), которая, в свою очередь, определяется числом воздушных судов (ВС), проходящих через определенные вертикальные сечения ВП в единицу времени. Определенные вертикальные сечения подразумевают обычно границы зон ответственности того или иного пункта УВД (ПУВД), что показано на рис. 1, где цифры 1, 2, 3 означают последовательно следующие ПУВД, соответствующие последовательно следующим зонам ответственности.

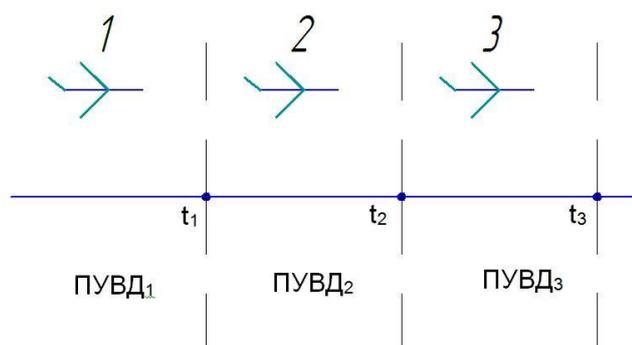


Рис. 1. Зоны ответственности УВД

В каждый момент времени t_1, t_2, t_3 какое-то количество ВС пересекает ту или иную зону ответственности ПУВД. Если это число пересекающих вертикальных сечения ВС взять за определенный интервал времени, обычно берут 1 час, то получим интенсивность движения в данной зоне ответственности УВД.

Обозначим ее через λ , число ВС, пересекающих границу, обозначим Q , а время t , тогда интенсивность движения будет равна

$$\lambda = Q/t. \quad (1)$$

Под термином максимально допустимая интенсивность ВД (ИВД) понимается то количество ВС, которое может сопровождать диспетчер УВД при выполнении требований по обеспечению безопасности полетов (БП). Здесь имеются в виду требования, предъявляемые к работе диспетчера (его загрузка), требования к скорости обработки информации техническими средствами, обеспечивающими работу диспетчера, и т.д. Отсюда

$$R = \max \lambda \text{ или } R = \lambda \max \text{ при } \text{НБП} \leq \text{НБП норм}, \quad (2)$$

где $\max \lambda = \lambda \max$ – максимально возможная интенсивность ВД в данной зоне ответственности;

НБП – требование по БП, обеспечиваемые в данной зоне УВД;

НБП норм – нормативные требования по БП.

Выделим внутри сектора УВД ограниченный объем пространства P , в котором перемещается поток ВС в количестве Q с путевой скоростью V , вектор который направлен вдоль горизонтальной оси сектора УВД, т.е. полагаем, что движемся в продольном направлении по оси L . Это показано на рис. 2.

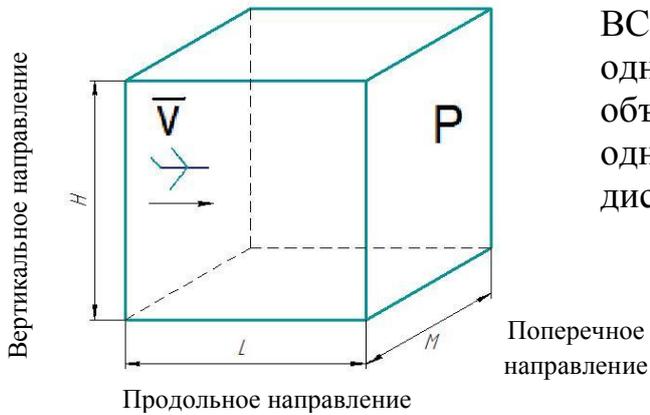


Рис. 2. Перемещение ВС в объеме ВП

Как видно из рис. 3, $\rho_1 = 4BC$; $\rho_2 = 3BC$. Плотность потока ВС ρ задается соотношением:

$$\rho = Q/p. \quad (3)$$

Обычно под p понимают всю зону ответственности данного пункта УВД, а не какой-либо конкретный объем.

При $V = \text{const}$, т.е. при постоянной скорости движения всех ВС, выражение (3) справедливо как для случая $Q = \text{const}$, так и для случая $Q = \text{var}$, т.е. число ВС в зоне ответственности изменяется, т.е. меняется плотность ВД. При $Q = \text{const}$ и, соответственно, $\rho = \text{const}$ имеет место установившийся процесс (его еще называют стационарным процессом). Далее будем рассматривать изменение Q как результат дисбаланса между входящим и выходящим потоками объема воздушного пространства P .

Пусть за время dt входящий поток ВС равен dQ_1 , а выходной dQ_2 . Тогда интенсивность входящего и выходящего потоков ВС равны

$$\lambda_1 = \frac{dQ_1}{dt}; \quad \lambda_2 = \frac{dQ_2}{dt}, \quad (4)$$

где λ – интенсивность ВД.

$$dQ = dQ_2 - dQ_1.$$

Если $\lambda_2 = \lambda_1 = \lambda$, тогда $Q = \text{const}$.

В этом стационарном случае λ есть интенсивность проходящего потока ВС, а ее обратная величина $\tau = 1/\lambda$ имеет смысл интервала времени между поступлениями следующих друг за другом ВС, т.е.

$$T = t_i - t_{i-1} = \tau(t_i),$$

Введем понятие плотности потока ВС ρ , под которым понимается число ВС, одновременно находящихся в единице объема (площади) ВП, т.е. находящихся одновременно под управлением диспетчера УВД (рис. 3).

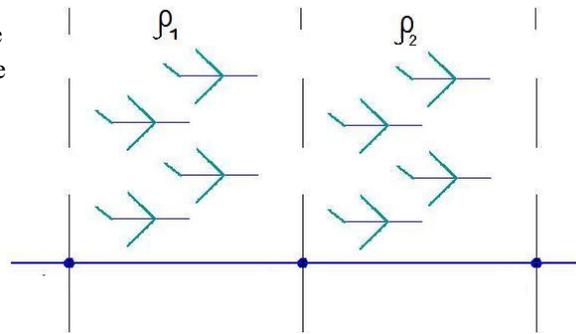


Рис. 3. Понятие плотности ВД

где i – порядковый номер в потоке ВС, т.е. $i = 1, 2, 3, \dots$

Если $i = 3$, то имеем на рис. 4 : $\tau_4 - \tau_3$, $\tau_3 - \tau_2$ и т.д.

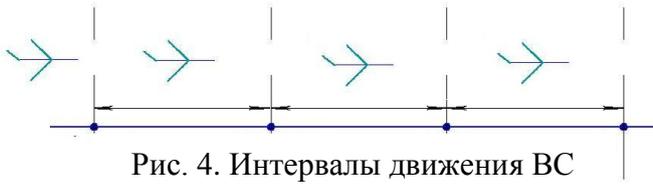


Рис. 4. Интервалы движения ВС

Если $\tau(t_i) = \text{const}$, то λ имеет смысл частоты движения ВС в данной зоне ответственности УВД.

Обратим внимание, что для ранее введенной величины λ max будет интервал времени поступления ВС минимальным, т.е. $\tau_{\min} = 1/\lambda_{\max}$.

Рассмотрим участок трассы на данном высотном эшелоне фиксированной длины L (рис. 2). С учетом ограниченности ширины трассы (коридор) и невозможности «обгона» при полете ВС на одном эшелоне в качестве параметра, соответствующего объему ВП P , можно принять длину участка трассы L .

Выражению (3) соответствует средняя плотность ВД в объеме P , т.е. распределение ВС по длине L записывается как

$$\rho = Q/L,$$

а при неравномерном распределении ВС по длине L – дифференциальная плотность $d\rho$,

$$d\rho = \frac{dQ}{dl}, \quad (5)$$

где dl – изменение длины в продольном направлении.

Преобразуем выражение (5) к виду:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{dl}{dt} d\rho. \quad (6)$$

С учетом выражения (4) и с учетом, что $\frac{dl}{dt} = V$, получим

$$\lambda = V d\rho. \quad (7)$$

При $V = \text{const}$, можно записать:

$$\lambda = \frac{Q}{L} V, \quad Q = \lambda \frac{L}{V} = \lambda \theta, \quad (8)$$

где $\theta = L/V$ – длительность по времени полета ВС на расстоянии L .

При $V = \text{const}$ пропускную способность обозначим R , и получим

$$R = \lambda, \quad \text{max} \times L/V = \lambda \text{max} \times \theta \quad (9)$$

или

$$R = 1/\tau_{\min} \times L/V = 1/\tau_{\min} \times \theta. \quad (10)$$

Если сравнить формулу (9) с формулой (2), то необходимо отметить следующее. В формуле (2) пропускная способность ограничивалась при условии, что ИВД учитывалась для случая пересечения строго определенного вертикального разреза ВП, а в формуле (9) – пропускная способность определяется при условии, что ИВД определяется на интервале длины L , т.е. берется другой временной отсчет.

В простом случае однородного потока, когда ВС имеет одну и ту же скорость и строго выдерживают одинаковые интервалы по расстоянию между собой, равные d_0 , для плотности потока ВС можно записать:

$$\rho = R1 = L/d_0.$$

Для интенсивности потока, соответственно

$$\lambda = V/d_0.$$

В общем случае для R , можно записать

$$R1 = \lambda \max \times \frac{L}{V} = \frac{L}{d_{\min}}, \quad (11)$$

где в данном случае, d_{\min} – норма продольного эшелонирования.

Еще раз обратим внимание, что соотношение (11) справедливо только для одинаковых интервалов между ВС.

Как сказано выше, d_{\min} – минимально допустимое расстояние между ВС, определяемое нормами безопасного продольного эшелонирования. Эти нормы в полном объеме рассматриваются в лекционном материале, однако для удобства выполнения соответствующих расчетов приведем здесь необходимые сведения об этих нормах эшелонирования.

При продольном эшелонировании по правилам визуальных полетов (ПВП) устанавливаются следующие минимальные интервалы:

1. Между ВС, следующими по одному маршруту на одной высоте – не менее 2км.

2. Для продольного эшелонирования по правилам полета по приборам (ППП) с непрерывным радиолокационным контролем устанавливаются следующие минимальные интервалы:

а) между ВС, следующими по одному маршруту на одном эшелоне на воздушных трассах и маршрутах вне их – не менее 30 км;

б) в районе аэродрома (в зоне подхода) – не менее 20 км;

в) в районе аэродрома (в зоне подхода с АС УВД или ВРЛ) – не менее 10 км.

При полетах по ППП без радиолокационного контроля устанавливаются следующие временные интервалы продольного эшелонирования:

а) следующими на одном эшелоне на воздушных трассах местных воздушных линий (МВЛ), или по одному и тому же маршруту вне их, а также в районе аэродрома (в зоне подхода) – не менее 10 мин.

На этом теоретическая часть ПЗ-1.1 заканчивается и следует переходить к конкретным расчетам.

ЗАДАНИЕ 1

Пусть выполняются полеты по ППП без радиолокационного контроля. Даны 3 варианта прохождения пути L : $L1 = 100$ км, $L2 = 200$ км, $L3 = 300$ км. Пусть скорость перемещения ВС $V = 300$ км/ч. Рассчитать пропускную способность R для всех трех вариантов и сделать соответствующие выводы.

ЗАДАНИЕ 2

Пусть выполняются полеты по ППП без радиолокационного контроля. Длина пройденного пути ВС $L = 200$ км. Даны 3 варианта скорости прохождения пути V : $V_1 = 240$ км/ч, $V_2 = 360$ км/ч, $V_3 = 600$ км/ч. Рассчитать пропускную способность R для всех трех вариантов и сделать соответствующие выводы.

ЗАДАНИЕ 3

Пусть выполняется полет по ППП с непрерывным радиолокационным контролем на трассе или по маршруту вне ее. Даны 3 варианта прохождения пути L : $L_1 = 100$ км, $L_2 = 200$ км, $L_3 = 300$ км. Выбор скорости движения ВС произволен. Рассчитать пропускную способность R для всех 3 вариантов и сделать соответствующие выводы.

ЗАДАНИЕ 4

Пусть выполняется полет по ППП с непрерывным радиолокационным контролем в районе аэродрома при наличии и при отсутствии АС УВД. Принять длительность пройденного пути $L = 50$ км и сравнить два указанных случая путем расчета пропускной способности R и сделать соответствующие выводы.

ПЗ-1.2. Переменная скорость движения ВС.

В ПЗ-1.1 был рассмотрен случай постоянных скоростей движения ВС, имеющий определенное теоретическое значение для получения соответствующих выводов об изменениях пропускной способности зон ответственности УВД при изменении исходных данных. Однако такой случай является очень грубой моделью по отношению к реальным ситуациям. Поэтому далее рассмотрим более правдоподобную ситуацию, т.е. когда скорости движения ВС в зоне ответственности УВД различаются между собой.

Пусть ВС имеют разные скорости, например, минимальную V_1 и максимальную V_2 (или наоборот, что несущественно) и пусть между интервалом V_2 и V_1 скорости распределены равномерно (это тоже определенная идеализация, т.к. на самом деле такого не бывает, но мы принимаем такую модель). Тогда средняя скорость $V_{\text{ср}}$ и отклонение от $V_{\text{ср}} - \Delta V$ будут равны:

$$V_{\text{ср}} = \frac{V_1 + V_2}{2}; \quad \Delta V = \sqrt{V_2 - V_1}.$$

Несущественно, какая скорость больше: V_2 или V_1 , поэтому берется модуль.

Обратим внимание, что, если использовать не простой равномерный закон распределения скоростей движения ВС, а более реалистичный, например, нормальный, то $V_{\text{ср}}$ – это будет математическое ожидание нормального закона, а ΔV – его среднеквадратическое значение, т.е. $(\Delta V)^2$ – дисперсия.

Тогда максимальная девиация (отклонение) интервала поступления (во времени) ВС в конце участка трассы длиной L , при условии, что на выходе участка трассы длиной L , $\tau = 1/\lambda$, определится в виде:

$$\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1 = \frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1 \times \lambda_2} = \frac{\frac{Q \times V_1}{L} - \frac{Q \times V_2}{L}}{\frac{Q \times V_1}{L} \times \frac{Q \times V_2}{L}} = L \frac{V_1 - V_2}{V_1 \times V_2} \quad (12)$$

Выразим эти соотношения через среднюю скорость V_{cp} и среднеквадратическое отклонение ΔV .

Для этого запишем:

$$\begin{aligned} V_2 &= 2V_{cp} - V_1; & V_2 &= V_1 + \Delta V; & 2V_{cp} - V_1 &= V_1 + \Delta V, \\ V_1 &= V_{cp} - \Delta V/2; & V_2 &= V_{cp} + \Delta V/2. \end{aligned}$$

Подставим эти соотношения в формулу (12):

$$\Delta\tau = \frac{L/V_2 - V_1/}{V_1 \times V_2} = \frac{L \times \Delta V}{(V_{cp} - \frac{\Delta V}{2}) \times (V_{cp} + \frac{\Delta V}{2})} = \frac{L \times \Delta V}{V_{cp}^2 - \frac{1}{4}(\Delta V)^2}. \quad (13)$$

При условии $V = \text{const}$, мы имеем формулу:

$$R1 = \frac{\lambda_{max} \times L}{V} = \frac{L}{\tau_{min} \times V},$$

а здесь надо учесть формулу (13) и предварительно записать

$$R1 = \frac{\lambda_{min} \times L}{V_{var}}. \quad (14)$$

Далее принимаем следующую модель. Пусть переменная V_{var} состоит из постоянной составляющей $V_{post} = V_{cp}$ и переменной составляющей, которую можно выразить в следующем виде:

$$V_{пер} = V_{cp} \times \Delta\tau \times \lambda_{cp}.$$

Тогда:

$$V_{var} = V_{post} + V_{пер} = V_{cp} + V_{cp} \times \Delta\tau \times \lambda_{cp} = V_{cp}(1 + \Delta\tau \times \lambda_{cp}). \quad (15)$$

В данном случае переменная составляющая $V_{пер}$ учитывает временной сдвиг между ВС $\Delta\tau$ и среднюю интенсивность ВД λ_{cp} . Подставляем (15) в (14) и получаем:

$$R2 = \frac{\lambda_{max} \times L}{V_{cp}(1 + \Delta\tau \times \lambda_{cp})} = \frac{\lambda_{max}}{(1 + \Delta\tau \times \lambda_{cp})} \theta_{cp}, \quad (16)$$

где величину θ мы ввели ранее, т.к. она относилась к случаю постоянной скорости, то здесь мы взяли

$$\theta_{cp} = \frac{L}{V_{cp}}.$$

Легко видеть, что, если $\Delta\tau = 0$ (нет временного сдвига между ВС во времени прохождения отрезка трассы L), тогда формула (16) переходит в формулу (11).

Еще раз обратим внимание на соотношение (14). Из него видно, что, чем больше расхождение по скоростям движения ВС, т.е. V_{var} , тем меньше пропускная способность сектора УВД $R2$.

Далее уточним понятие λ_{cp} , которое определим как некоторое среднее значение, если в интервале λ_2 и λ_1 интенсивность ВД распределена равномерно, т.е.:

$$\lambda_{\text{ср}} = \frac{\frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\tau_2}}{2} = \frac{\tau_1 + \tau_2}{2\tau_1 \times \tau_2} = \frac{\frac{L}{V_1} + \frac{L}{V_2}}{2L^2/V_1 \times V_2} = \frac{LV_1 + LV_2}{V_1 \times V_2} = \frac{V_1 + V_2}{2L}. \quad (17)$$

Здесь мы опять приняли упрощенную равномерную модель для ИВД.

Таким образом, для расчета величины R_2 необходимо в соотношение (14) подставить $\lambda_{\text{ср}}$ из формулы (17), значение Δt из формулы (13), значение $V_{\text{ср}}$ и λ_{max} . Конечная формула получается достаточно громоздкой, поэтому мы этого делать не будем, а каждую величину будем рассчитывать отдельно при определенных исходных данных. С этой целью сформулируем порядок проведения расчетов:

1. Определяем временной сдвиг между ВС Δt .
2. Определяем среднюю скорость движения ВС $V_{\text{ср}}$.
3. Находим среднюю интенсивность полетов $\lambda_{\text{ср}}$.
4. Определяем максимально возможное значение интенсивности полетов λ_{max} .
5. Находим пропускную способность сектора УВД R_2 для случая переменной скорости движения ВС.

ЗАДАНИЕ 1

Пусть выполняются полеты по ППП без непрерывного радиолокационного контроля. Выбираем три варианта длины пройденного пути L : $L_1 = 100$ км; $L_2 = 200$ км; $L_3 = 300$ км, при вариантах скоростей: $V_1 = 360$ км/ч и $V_2 = 480$ км/ч. Используя приведенный выше порядок расчета, определить значение R_2 для всех трех указанных случаев и сделать соответствующие выводы.

ЗАДАНИЕ 2

Пусть выполняются полеты по ППП без непрерывного радиолокационного контроля. Выбираем длину пройденного пути $L_1 = 300$ км при скорости $V_1 = 300$ км/ч и $V_2 = 500$ км/ч. Используя приведенный выше порядок расчета, определить пропускную способность R_2 сектора УВД, сравнить с предыдущим заданием и сделать соответствующие выводы.

ЗАДАНИЕ 3

Пусть выполняются полеты по ППП с непрерывным радиолокационным контролем по трассе или на маршруте вне ее. Длина пройденного пути $L = 300$ км, а скорости движения $V_1 = 700$ км/ч и $V_2 = 900$ км/ч. Используя приведенный выше порядок расчета, определить пропускную способность R_2 сектора УВД и сделать соответствующие выводы.

ЗАДАНИЕ 4

Пусть выполняются полеты по ППП с непрерывным радиолокационным контролем в районе аэродрома при наличии и при отсутствии АС УВД. Принять длительность пройденного пути $L = 50$ км при скоростях движения

$V_1 = 100$ км/ч и $V_2 = 120$ км/ч и сравнить два указанных случая путем расчета пропускной способности R_2 сектора УВД и сделать соответствующие выводы.

Тема № 2. Расчет безопасных высот (эшелонов) полета

ПЗ-2.1. Расчет безопасной высоты круга полетов над аэродромом.

Сначала определим основные понятия, которые подробно рассматриваются в лекционном материале, но здесь приводятся для удобства проведения ПЗ, и каждое понятие нумеруется также для удобства восприятия.

1. *Высота полета* – общее понятие, которое определяет расстояние по вертикали от определенного уровня до ВС.

2. *Высота рельефа* – абсолютная высота рельефа местности.

3. *Высота абсолютная* – высота, определяемая относительно уровня моря, выбранного за начало отсчета. В РФ в качестве такого моря выбрано Балтийское.

4. *Высота истинная* – высота, определяемая от точки на земной (водной) поверхности, расположенной непосредственно под объектом измерения до этого объекта.

5. *Высота относительная* – высота, определяемая от выбранного уровня до объекта, относительно которого производится измерение.

6. *Безопасная высота полета* – высота полета, исключающая столкновение ВС с земной (водной) поверхностью или препятствиями на ней.

7. *Эшелон полета* – установленная поверхность постоянного атмосферного давления, отнесенная к давлению 760 мм ртутного столба (1013,2 гПа) и отстоящая от других таких поверхностей на величину установленных интервалов.

8. *Эшелон нижний (безопасный)* – ближайший к безопасной высоте полета рассчитанный и установленный эшелон полета, расположенный выше этой высоты.

9. *Эшелон перехода* – установленный эшелон полета для перевода шкалы давления барометрического высотомера со стандартного давления на давление аэродрома или минимальное атмосферное давление, приведенное к уровню моря.

Обратим внимание, что высота полета ВС определяется только с помощью барометрического высотомера, а радиовысотомер для этих целей не используется, т.к. он применяется только при посадке и поэтому называется радиовысотомер малых высот. Кроме того, обратим внимание, что истинная высота определяется в точке, а относительная – определяется от некоторого выбранного уровня.

Все приведенные выше определения высот показаны на рис. 5.

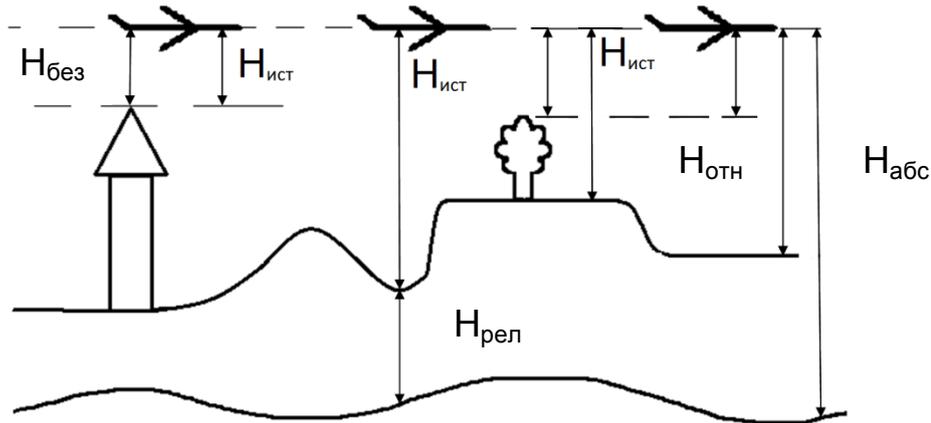


Рис. 5. Понятие высоты полета ВС

Существует Единая методика расчета высот (эшелонов) полета ВС, изложенная в Федеральных авиационных правилах полетов в ВП РФ. В этой методике описаны следующие правила расчетов:

1. Расчет безопасной высоты круга полетов над аэродромом.
2. Расчет безопасной высоты полета (высоты перехода) в районе аэродрома в радиусе не более 50 км от КТА (районе аэроузла). Отметим, что КТА – контрольная точка аэродрома, т.е. точка, определяющая местоположение аэродрома в выбранной системе координат.
3. Расчет безопасной высоты полета ниже нижнего (безопасного) эшелона.
4. Расчет нижнего (безопасного) эшелона.
5. Расчет нижнего (безопасного) эшелона (эшелона перехода) района аэродрома в радиусе не более 50 км от КТА (района аэроузла).
6. Расчет нижнего (безопасного) эшелона (эшелона перехода) в районе Единой системы (ЕС) Организации Воздушного Движения (ОрВД).
7. Расчет высоты перехода района ЕС ОрВД (установленного участка ЕС ОрВД).

Из перечисленных вариантов расчетов выберем несколько для иллюстрации самой методики расчета.

Рассмотрим расчет безопасной высоты круга полета над аэродромом. Расчетное соотношение выглядит следующим образом:

$$H_{Б\text{кр}} = H_{ист} + \Delta H_{рел} + \Delta H_{преп} - \Delta H_t = H'_{Бкр} - \Delta H_t, \quad (1)$$

где $H'_{Бкр} = H_{ист} + \Delta H_{рел} + \Delta H_{преп}$;

$H_{Бкр}$ – безопасная высота круга полетов над аэродромом;

$H_{ист}$ – установленное значение истинной высоты полетов над наивысшим препятствием (запас высоты над препятствием) в полосе шириной 10 км (по 5 км

в обе стороны от оси маршрута полета по кругу) (100 м – при полетах по ПВП и 200 м – при полетах по ППП).

Заметим, что препятствием является рельеф местности, естественные и искусственные объекты на ней, представляющие угрозу безопасности ВД. Это показано на рис. 6.

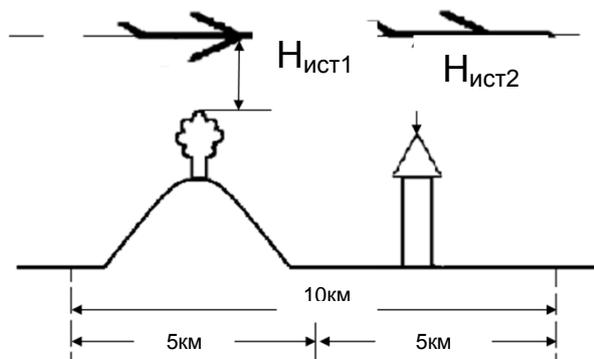


Рис. 6. Определение истинной высоты полета

Из рис. 6 видно, что $H_{ист1} < H_{ист2}$, поэтому в качестве $H_{ист}$ для расчета выбираем $H_{ист1}$ и принимаем это значение равным 100 м, если выполняется полет по ПВП, и равным 200 м, если полет выполняется по ППП;

$\Delta H_{рел}$ – значение превышения наивысшей точки рельефа местности над низшим порогом ВПП (взлетно-посадочной полосы) в полосе шириной 10 км (по 5 км в обе стороны от оси маршрута полета по кругу).

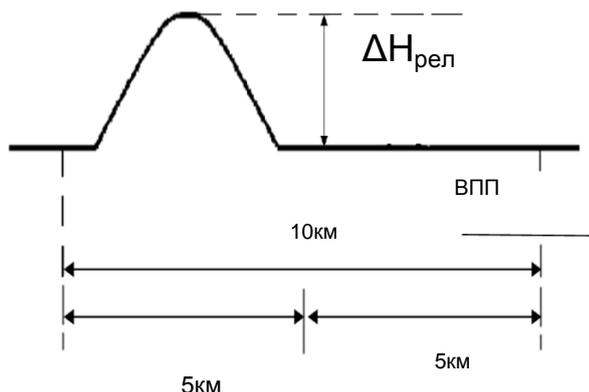


Рис. 7. Определение значения наивысшей точки рельефа над ВПП

Это показано на рис. 7;

$\Delta H_{преп}$ – максимальное значение превышения препятствий (естественных и искусственных) над наивысшей точкой рельефа местности в полосе шириной 10 км (по 5 км в обе стороны от оси маршрута полета по кругу, округляемое до 10 км в сторону увеличения).

Например, если превышение составляет 44 м или 46 м, в любом случае берем $\Delta H_{преп}$ равным 50 м. Это показано на рис. 8;

ΔH_t – значение методической температурной поправки высотомера, которое определяется по формуле:

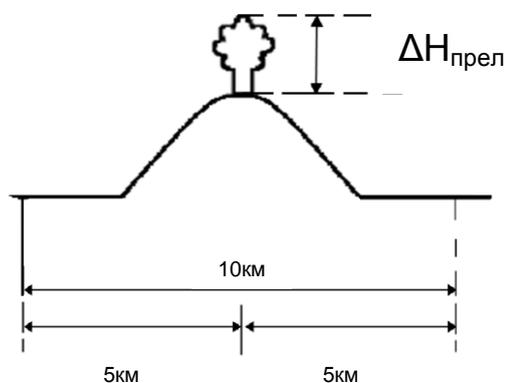


Рис. 8. Определение максимального значения превышения препятствий над наивысшей точкой рельефа местности

$$\Delta H_t = \frac{t_0 - 15}{300} H'_{\text{Бкр}}, \quad (2)$$

где t_0 – температура воздуха на аэродроме.

При установлении высоты полета по кругу расчет ΔH_t должен выполняться по минимальной температуре воздуха на аэродроме, отмеченной за период многолетних наблюдений.

ЗАДАНИЕ 1

Определить безопасную высоту круга полетов над аэродромом при выполнении полета по ППП, где значение превышения наивысшей точки рельефа местности порогом ВПП составляет 50 м, наивысшее препятствие составляет 75 м, а минимальная температура воздуха, отмеченная за период многолетних наблюдений составляет - 25°C. Перед выполнением расчетов рекомендуется сделать рисунок местности с точки зрения представления различных элементов местности.

ЗАДАНИЕ 2

Определить безопасную высоту круга полетов над аэродромом при выполнении полета по ПВП, где значение превышения наивысшей точки рельефа местности над порогом ВПП составляет 70 м, наивысшее препятствие составляет 60 м, а минимальная температура воздуха, отмеченная за период многолетних наблюдений составляет - 45°C.

ПЗ-2.2. Расчет безопасной высоты полета ниже нижнего (безопасного) эшелона и расчета нижнего (безопасного) эшелона полета.

Для расчета безопасной высоты полета ниже нижнего (безопасного) эшелона воспользуемся следующей формулой:

$$H_{\text{Бниже(без)эш}} = H_{\text{ист}} + H_{\text{рел}} + \Delta H_{\text{преп}} - \Delta H_t = H'_{\text{Бниже(без)эш}} - \Delta H_t, \quad (3)$$

где $H'_{\text{Бниже(без)эш}} = H_{\text{ист}} + H_{\text{рел}} + \Delta H_{\text{преп}}$.

Сразу обратим внимание, что формулы (1) и (3) внешне кажутся идентичными, но это не так. В первой из них мы имеем $\Delta H_{\text{рел}}$, а во второй $H_{\text{рел}}$, и они имеют разный смысл. Несколько по-другому определяются и другие величины.

В формуле (3):

$H_{\text{ист}}$ – установленное значение истинной высоты полета над наивысшим препятствием (запас высоты над препятствием) при полетах ниже нижнего эшелона по ПВП и ППП (100 м, если полет выполняется над равнинной или холмистой местностью и водным пространством при скорости 300 км/ч и менее; 200 м – если полет выполняется в тех же условиях, но при скорости ВС более 300 км/ч; 300 м – если полет выполняется в горной местности с высотой

гор 2000 м и менее; 600 м – при тех же условиях, но высота гор составляет свыше 2000 м).

Напомним определение понятий, введенных для выполнения последующих расчетов.

Местность равнинная – местность с относительными превышениями рельефа менее 200 м в радиусе 25 км.

Местность холмистая – местность с пересеченным рельефом и относительными превышениями рельефа от 200 м до 500 м в радиусе 25 км.

Местность горная – местность с пересеченным рельефом и относительными превышениями 500 м и более в радиусе 25 км, а также местность с абсолютной высотой рельефа 1000 м и более;

$H_{\text{рел}}$ – значение абсолютной высоты наивысшей точки рельефа местности на участке маршрута (МВЛ) в пределах их ширины при полетах по ПВП, а при полетах по ППП – в полосе шириной 50 км (по 25 км в обе стороны от оси маршрута или МВЛ);

$\Delta H_{\text{преп}}$ – максимальное значение превышения препятствий (естественные и искусственные) над наивысшей точкой рельефа местности на участке маршрута (МВЛ) в пределах полосы учета $H_{\text{рел}}$;

ΔH_t – значение методической температурной поправки высотомера, которое определяется по формуле:

$$\Delta H_t = \frac{t_0 - 15}{300} H_{\text{испр}}, \quad (4)$$

где t_0 – температура воздуха у земли в точке минимального давления;

$$H_{\text{испр}} = H_{\text{ист}} + \Delta H_{\text{рел}} + \Delta H_{\text{преп}}. \quad (5)$$

Обратим внимание, что в соотношении (5) входит величина $\Delta H_{\text{рел}}$, а не величина $H_{\text{рел}}$, входящая в формулу (3).

ЗАДАНИЕ 1

Рассчитать безопасную высоту полета ВС ниже нижнего (безопасного) эшелона над равнинной местностью, если скорость ВС более 300 км/ч, $H_{\text{рел}}$ составляет 400 м, $H_{\text{преп}} = 75$ м, $t_0 = +10^\circ \text{C}$, низший порог ВПП составляет 350 м высоты над уровнем моря. Перед выполнением расчетов рекомендуется нарисовать условную картину местности для получения большей наглядности.

ЗАДАНИЕ 2

Рассчитать безопасную высоту полета ВС ниже нижнего (безопасного) эшелона над горной местностью, где высота гор менее 2000 м, $H_{\text{рел}} = 1600$ м; $\Delta H_{\text{преп}} = 20$ м; $t_0 = 25^\circ \text{C}$, низший порог ВПП составляет 400 м высоты над уровнем моря.

Далее переходим к расчетам нижнего (безопасного) эшелона полета, который определяется по следующей формуле:

$$\begin{aligned} H_{\text{ниже(без)эш}} &\geq H_{\text{ист}} + H_{\text{рел}} + \Delta H_{\text{преп}} + (760 - P_{\text{прив.мин.}}) \times 11 - \Delta H_t = \\ &= H_{\text{ниже(без)эш}} + \Delta H_p - \Delta H_t, \end{aligned} \quad (6)$$

$$\text{где } H_{\text{ниже(без)эш}} = H_{\text{ист}} + H_{\text{рел}} + \Delta H_{\text{преп}}; \quad (7)$$

$$\Delta H_p = (760 - P_{\text{прив.мин.}}) \times 11; \quad (8)$$

$H_{\text{ист}}$ – установленное значение истинной высоты полета над наивысшим препятствием (запас высоты над препятствием) – (600 м).

Обратим внимание, что в этом случае установлено только одно значение запаса высоты над препятствием без оговорок на какие-либо условия;

$H_{\text{рел}}$ – значение абсолютной высоты наивысшей точки рельефа местности над уровнем моря в пределах:

- полосы шириной 50 км (по 25 км от оси маршрута, воздушной трассы) при полете по ППП;

- ширины маршрута (участка маршрута), воздушной трассы при полете по ПВП;

$\Delta H_{\text{преп}}$ – максимальное значение превышения препятствий (естественные и искусственные) над наивысшей точкой рельефа местности в пределах полосы учета $H_{\text{рел}}$;

$P_{\text{прив.мин.}}$ – значение минимального атмосферного давления по маршруту (участку маршрута), воздушной трассы за пределами района аэродрома (аэроузла), приведенное к уровню моря и времени полета с учетом барометрической тенденции;

ΔH_t – значение методической температурной поправки высотомера, которое определяется по формуле (4) при условии, что t_0 – температура воздуха у земли в наивысшей точке рельефа местности;

$$H_{\text{испр}} = H_{\text{ист}} + H_{\text{рел}} + \Delta H_{\text{преп}} + (760 - P_{\text{прив.мин.}}) \times 11. \quad (9)$$

Обратим внимание, что в формуле (9) для $H_{\text{испр}}$ входит уже не $\Delta H_{\text{рел}}$, а само значение $H_{\text{рел}}$.

ЗАДАНИЕ 3

Рассчитать нижний (безопасный) эшелон полета при значении абсолютной высоты наивысшей точки рельефа местности, равной 500 м, максимальное значение превышения препятствия над наивысшей точкой рельефа местности составляет 20 м, минимальное давление составляет 740 мм рт. ст., высота над уровнем моря трассы (по Земле) составляет 470 м, температуре воздуха - 10° С.

Тема № 3. Нормы эшелонирования при радиолокационном УВД

ПЗ-3.1. Определение значений нормированной корреляционной функции случайного процесса пересечений уровня норм эшелонирования.

При наличии соответствующей информации от РЛС диспетчер УВД может подать ВС предупреждающую команду о возникновении существенного отклонения от оси трассы. Значение этого отклонения L_y можно строго обосновать, исходя из допустимого значения загрузки диспетчера. Эту формулу и постараемся далее получить с целью проведения необходимых расчетов.

Точность выдерживания заданной траектории полета в значительной степени определяется ошибками пилотирования. При этом траектория движения ВС по трассе имеет характер случайных колебаний относительно заданных оси трассы, высоты и скорости полета. Положение ВС внутри коридора определяется плотностью распределения вероятностей $W(r)$ по соответствующей координате, где $r = x, y, z$, а с учетом времени – многомерной функцией $w(x, y, z, t_1, t_2, \dots)$. Характер протекания процессов во времени определяется корреляционной функцией $\rho(t_1, t_2)$.

Траектория ВС имеет характер случайных блужданий вблизи линии заданного пути. Для выполнения оценки L_y необходимо знать числовые характеристики этого случайного процесса. Очевидно, что L_y лежит внутри коридора, т.е. $L_y \leq S$, где S – нормы бокового эшелонирования. И, если диспетчер УВД вмешивается в управление движения ВС, то естественно предположить, что L_y находится где-то около математического ожидания плотности распределения и правомерно принять нормальное распределение отклонений.

Среднее число односторонних пересечений N , уровня L_y/σ_y нормального стационарного случайного процесса определяется из теории выбросов случайных процессов за определенный интервал наблюдений соотношением:

$$N_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{-\rho''(0)} \exp\left[-\frac{1}{2} \times \frac{(L_y - m_y)^2}{\sigma_y^2}\right], \quad (1)$$

где $\rho''(0)$ – значение второй производной от нормированной корреляционной функции процесса при $t_2 - t_1 = 0$; m_y – математическое ожидание координаты Y , совпадающее для момента времени с линией заданного пути; σ_y^2 – дисперсия отклонений движения ВС от линии заданного пути.

Еще раз обратим внимание, что рассматривается только задача возникновения боковых отклонений траектории движения ВС от заданного пути, поэтому мы оперируем координатой Y . Если учесть продольные отклонения (координата X) и вертикальные (координаты Z), то получим аналогичные уравнения.

Очевидно, что число выбросов N_n за уровень L_y/σ_y в течение времени t будет равно:

$$N_n = 2 \times N_1 \times t. \quad (2)$$

Средний интервал T_{cp} между выбросами случайных процессов равен $1/N_1$, а средняя длительность выбросов τ_1 определяется выражением:

$$\tau_1 = \frac{2\pi}{\sqrt{-\rho''(0)}} [1 - \Phi(\frac{L_y - m_y}{\sigma_y})] \exp[-\frac{(L_y - m_y)^2}{2\sigma_y^2}], \quad (3)$$

где $\Phi(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^x \exp(-t^2/2) dt$ – интеграл Лапласа.

Воспользоваться формулами (1) и (3), естественно, можно только в том случае, если нормированная корреляционная функция $\rho(\tau)$ случайного процесса имеет вторую производную в точке $\tau = 0$, где $\tau = t_2 - t_1$.

Поэтому для выполнения соответствующих расчетов рекомендуется использовать следующие виды нормированных корреляционных функций:

1. $\rho(\tau) = \exp(-\alpha^2 \tau^2)$;
2. $\rho(\tau) = \exp(-\alpha^2 \tau^2) \cos \omega \tau$;
3. $\rho(\tau) = \exp(-\alpha/\tau) (\cos \omega \tau + \frac{\alpha}{\omega} \sin \omega \tau)$;
4. $\rho(\tau) = (1 + \alpha/\tau) \exp(-\alpha/\tau)$.

На практике с целью упрощения расчетов, обычно выбирают нормированную корреляционную функцию $\rho(\tau)$ в формуле 1 приведенного списка.

При каждом пересечении уровня L_y диспетчер тратит время t_b на формирование и передачу командиру ВС соответствующего сообщения. Общие затраты времени диспетчера t_n на эту операцию составляют:

$$t_n = N_1 \times t_3 \times K_{BC} \times t_b, \quad (4)$$

где K_{BC} – общее число ВС, находящихся в зоне ответственности диспетчера УВД; t_3 – время нахождения одного ВС в зоне ответственности органа УВД.

Затраты времени t_n должны быть меньше допустимых, т.е. $t_n \leq T_{доп}$.

При заданном числе ВС, t_3 и t_b , время t_n можно сократить только за счет сокращения числа N_1 , соответствующим выбором L_y . Вычислив N_1 по формуле (1) и используя формулу (4), можно найти зависимость L_y от N_1 , т.е. нужно найти $L_y = f(N_1)$.

Для решения этого вопроса примем следующие допущения: полагаем, как сказано выше, что математическое ожидание m_y соответствует линии заданного пути и может быть принятым равным нулю, т.е. $m_y = 0$; полагаем, что рассматриваем двухсторонние отклонения L_y , т.е. берем значения $2N_1$; принимаем, что

$$t_n = T_{доп}.$$

Таким образом, необходимо найти зависимость L_y от $T_{доп}$, т.е. $L_y = f(T_{доп})$ при условии, что уравнение (1) теперь имеет следующий вид:

$$N = \frac{1}{\pi} \sqrt{-\rho''(0)} \exp[-\frac{1}{2} \times (\frac{L_y}{\sigma_y})^2], \quad (1')$$

а уравнение (4) теперь выглядит следующим образом:

$$T_{доп} = N_1 \times t_3 \times K_{BC} \times t_b. \quad (4')$$

Берем от обеих частей уравнения (1') натуральные логарифмы, помня о том, что операция «exp» и «Ln» компенсируют друг друга взаимно и получаем только аргумент под знаком функции, т.е.

$$\text{Ln}N_1 = \text{Ln}\left(\frac{\sqrt{-\rho''(0)}}{\pi}\right) - \frac{1}{2}\left(\frac{L_y}{\sigma_y}\right)^2.$$

Перегруппируем члены уравнения:

$$\frac{1}{2}\left(\frac{L_y}{\sigma_y}\right)^2 = \text{Ln}\left(\frac{\sqrt{-\rho''(0)}}{\pi}\right) - \text{Ln}N_1;$$

$$L_y^2 = 2\sigma_y^2 \text{Ln}\left(\frac{\sqrt{-\rho''(0)}}{\pi N_1}\right);$$

$$L_y^2 = \sigma_y^2 \left(-2 \text{Ln}\frac{\pi N_1}{\sqrt{-\rho''(0)}}\right).$$

Подставим N_1 из уравнения (4'), тогда

$$L_y = \sigma_y \left(-2 \text{Ln}\frac{\pi \times T_{\text{доп}}}{t_3 \times K_{\text{ВС}} \times t_{\text{в}} \times \sqrt{-\rho''(0)}}\right)^{1/2}. \quad (5)$$

Из полученной формулы видно, что, чем меньше σ_y , тем меньше можно выбирать значения зоны L_y .

ЗАДАНИЕ 1

Найти вторую производную от нормированной корреляционной функции $\rho(\tau)$ в форме 1 из приведенного выше перечня возможных нормированных корреляционных функций и определить ее вид при $\tau = 0$. Подставить полученное значение $\rho''(0)$ в формулу (1') и получить окончательное выражение для N_1 для выполнения числовых расчетов.

Но прежде чем выполнять расчеты, дадим еще несколько вводных данных.

При боковом эшелонировании расстояние между осями движения ВС при ППП и при наличии радиолокационного контроля должно быть не менее 10000 м, т.е. $L_y = 5000$ м, отклонение σ_y в реальных ситуациях движения составляет 1–2 км, поэтому возьмем максимальное возможное значение $\sigma_y = 2000$ м. Необходимо определить значение параметра α , который характеризует степень коррелированности случайных отклонений от маршрута. Обратим внимание, что число N_1 пропорционально α , т.е., чем меньше α , тем меньше N_1 . Отсюда вытекает, что идеальный случай, когда $\alpha = 0$, т.е. $\rho = 1$, отсутствует случайность, соответственно процесс полностью детерминированный, а худший случай, когда $\rho = 0$.

ЗАДАНИЕ 2

Найти значения α при трех значениях $\rho = 0,1; 0,3; 0,5$ при условии, что среднее время прохождения зоны УВД одним ВС составляет 20 мин.

ПЗ-3.2. Определение характеристик случайного процесса пересечения уровня норм эшелонирования.

ЗАДАНИЕ 3

Для трех полученных значений α найти N и сделать соответствующие выводы.

ЗАДАНИЕ 4

Определить 3 значения N_n , зная N_1 , и найти 3 значения τ_m , т.е. средний интервал между выбросами случайного процесса по формуле:

$$\tau_m = 1/N_n.$$

ЗАДАНИЕ 5

Найти среднюю длительность выброса, т.е. τ_1 для трех вариантов значения параметра α . Значение функции Лапласа $\Phi(x)$ взять из таблицы, приведенной в Приложении 1. Сделать соответствующие выводы.

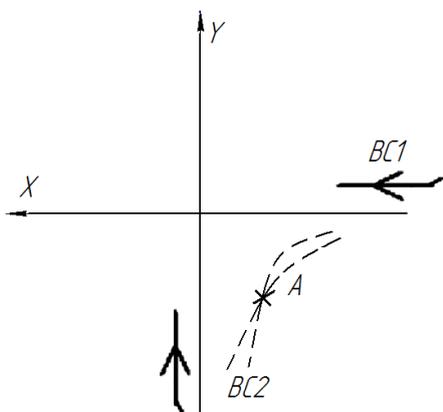
ЗАДАНИЕ 6

Повторить задания 2-5 при условии, что среднее время прохождения зоны УВД одним ВС составляет 30 мин и провести сравнительный анализ со случаем, когда время прохождения зоны УВД составляло 20 мин.

Тема № 4. Конфликтные ситуации при движении ВС и критерии их оценки

ПЗ-4.1. Определение времени маневра ВС при возникновении конфликтной ситуации.

Конфликтная ситуация – опаснейшее явление при полетах ВС. При выполнении полета каждое ВС может в определенной степени отклониться от планового пути и при пересекающихся полетах на одинаковой высоте возможно столкновение, что показано на рис. 9 (т.А).



Избежать столкновения можно путем изменения высоты горизонтального полета, прекращению набора высоты или снижения, изменения направления и скорости полета ВС. С момента обнаружения предпосылки к конфликтной ситуации необходимо иметь достаточно времени для того, чтобы путем маневрирования по указаниям диспетчера УВД достигнуть безопасных интервалов между ВС.

Рис. 9. Возникновение конфликтных ситуаций

Время маневра в вертикальной плоскости определяется следующим образом:

$$t_{\text{МВ}} = (h_6^2/v^2 + 2h_6/a_v)^{0,5}, \quad (1)$$

где h_6 – безопасная разность высот полета, которая определяется из норм вертикального эшелонирования, которая составляет 300 м, т.е. $h_6 = 150$ м;

V – скорость полета ВС, выполняющего маневра;

a_v – нормальное ускорение в вертикальной плоскости ($a_v \leq 0,1q = 0,98$ м/с²).

Время маневра в горизонтальной плоскости составляет:

$$t_{\text{МГ}} = [d\delta(d\delta + 2r_p)/V^2]^{0,5}, \quad (2)$$

где $d\delta$ – безопасное расстояние в горизонтальной плоскости, которое определяется из норм бокового эшелонирования (при полете на одной высоте при ПВП не менее 500 м при обгоне и не менее 2000 м на встречном движении; при ППП и наличии радиолокационного контроля не менее 10000 м между осями движения ВС);

$r_p = V^2/\alpha_n \times \text{tg}\beta$ – радиус разворота,

где β – угол крена; α_n – нормальное ускорение в горизонтальной плоскости ($\alpha_n \leq 0,1q = 0,98$ м/с²).

Расчеты по формулам (1) и (2) показывают, что минимальное время маневра составляет 20 с, а с запасом – 30 с. Для уклонения ВС от столкновения за счет изменения скорости движения требуется значительно больше времени, поэтому этот маневр на практике не применяется.

Чтобы определить критерии опасности столкновения, рассмотрим движение двух ВС со скоростями V_1 и V_2 по прямолинейным траекториям на одном вертикальном эшелоне, пересекающимися под углом γ . Относительная скорость их движения характеризуется вектором $\bar{V}_{\text{отн}} = V_1 - V_2$, который состоит из скорости сближения $\bar{V}_{\text{сбл}}$ и нормальной составляющей к ней \bar{V}_n . Это показано на рис. 10.

Решая задачу возникновения сближения двух ВС, определяют время наибольшего сближения

$$t_{\text{сбл}} = r_0 * V_{\text{сбл}} / |V_{\text{отн}}|^2, \quad (3)$$

а минимальное расстояние между ВС в момент $t_{\text{сбл}}$ равно

$$r_{\text{min}} = r_0 * V_n / |V_{\text{отн}}|, \quad (4)$$

где r_0 – начальное расстояние между ВС.

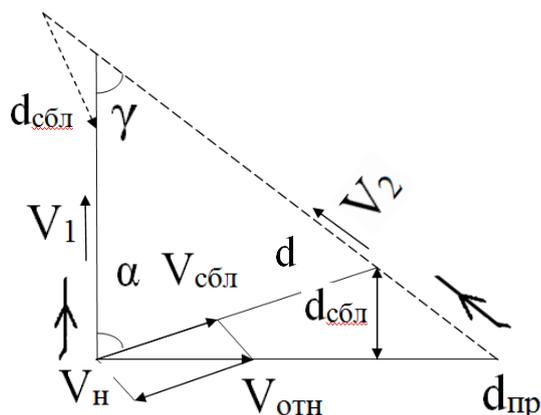


Рис. 10. Возникновение конфликтных ситуаций

Из рис. 10 можно определить все необходимые скорости:

$$\begin{cases} |V_{\text{отн}}|^2 = V_1^2 + V_2^2 - 2V_1V_2 \cos\gamma; \\ V_{\text{сбл}} = V_1 \cos\alpha - V_2 \cos(\alpha+\gamma); \\ V_{\text{н}}^2 = |V_{\text{отн}}|^2 - V_{\text{сбл}}^2. \end{cases} \quad (5)$$

Очевидно, что основным показателем опасности является r_{\min} . Если $r_{\min} \leq d\delta$, то риск столкновения увеличивается. Это расстояние нужно вычислить за время, не меньше $t_{\text{сбл}} \geq 30$ с.

Из формул (3) и (4), (5) видно, что для определения времени, за которое произойдет наибольшее сближение и получится минимальное расстояние между ВС даже в случае простейшего равномерного прямолинейного движения необходимо располагать информацией о координатах конфликтующих ВС (чтобы знать начальное расстояние между ними и углом γ) и о векторах скорости их движения (чтобы вычислить $V_{\text{н}}, V_{\text{отн}}, V_{\text{сбл}}$). Будем полагать, что мы располагаем соответствующими данными и проведем необходимые расчеты.

ЗАДАНИЕ 1

Определить время выполнения маневра ВС в вертикальной плоскости при трех значениях скорости движения ВС $V = 500$ км/ч, 600 км/ч, 800 км/ч. Сделать выводы.

ЗАДАНИЕ 2

Определить время выполнения маневра ВС в горизонтальной плоскости при трех значениях скорости движения ВС $V = 500$ км/ч, 600 км/ч, 800 км/ч для двух значений безопасного расстояния в горизонтальной плоскости, т.е. $d\delta_1 = 250$ м, $d\delta_2 = 1000$ м, если $\beta = 5^\circ$. Сделать выводы. Повторить расчеты при $\beta = 10^\circ$ и сравнить результаты.

ПЗ-4.2. Определение временных соотношений при возникновении конфликтной ситуации.

ЗАДАНИЕ 3

Необходимо найти $t_{\text{сбл}}$ и r_{\min} , для чего находятся $V_{\text{н}}, V_{\text{сбл}}, V_{\text{отн}}$. Пусть $V_1 = 800$ км/ч, $V_2 = 600$ км/ч, угол $\gamma = 30^\circ$, $\alpha = 30^\circ$, $r_0 = 2000$ м.

ЗАДАНИЕ 4

Повторить Задание 3, но взять $r_0 = 3000$ м и 4000 м. Сравнить полученные результаты.

ЗАДАНИЕ 5

Необходимо найти $t_{\text{сбл}}$ и r_{min} , для чего находится $V_{\text{н}}, V_{\text{сбл}}, V_{\text{отн}}$ при $V_1 = 800$ км/ч и $V_2 = 600$ км/ч, для двух значений угла γ , $\gamma = 10^\circ, \gamma = 45^\circ, \alpha = 30^\circ, r_0 = 4000$ м. Сравнить полученные результаты и сделать выводы.

Следует заметить, что, если исходных данных для расчета $t_{\text{сбл}}$ и r_{min} недостаточно, то можно принять упрощенный критерий оценки степени сближения опасности двух ВС, который называется τ -критерий.

В этом критерии в качестве расчетной величины принимают приближенное время полета ВС до столкновения в виде:

$$T = r_0 / V_{\text{сбл}}. \quad (6)$$

Эта формула получается из (3) подстановкой $/V_{\text{отн}}/ \cong V_{\text{сбл}}$.

Основанием для этого случая служит соотношение (4), из которого следует, что наиболее опасной является ситуация, когда $V_{\text{н}} \rightarrow 0$, т.е. $r_{\text{min}} \rightarrow 0$ и, как следствие, $/V_{\text{отн}}/ \rightarrow V_{\text{сбл}}$.

Величину τ выбирают такой, чтобы еще был осуществим маневр для предотвращения столкновения. Для определения τ достаточно знать расстояние между ВС и скорость сближения. Но упрощенный критерий τ можно применять не всегда. Например, при движении почти на параллельных маршрутах при малых углах γ различие между τ и $t_{\text{сбл}}$ становится очень большим, что дает большую ошибку. Поэтому об опасности столкновения в этом случае судят по расстоянию между ВС. В частности, такая ситуация возникает практически всегда, когда полет ВС идет по трассе на близких эшелонах.

ЗАДАНИЕ 6

Определить величину τ при трех значениях $r_0 = 2000$ м, 3000 м и 4000 м для $V_{\text{сбл}} = 120$ м/с.

ЗАДАНИЕ 7

Повторить Задание 6, но для $V_{\text{сбл}} = 150$ м/с и провести сравнительный анализ с результатами Задания 6.

Для оценки возможных ситуаций при сближении ВС и выработки сигналов предупреждения их столкновений возможно применения критерия по дальности и по высоте, в рамках которого принимают решение об опасности при одновременном выполнении условий:

$$r_0 \leq r_{\text{оп}}; \quad \Delta H \leq \Delta H_{\text{оп}},$$

где $r_0, r_{\text{оп}}$ – реальная и опасная дальности между ВС;

$\Delta H, \Delta H_{\text{оп}}$ – реальная и опасная разности высот между ВС.

Кроме того, возможно введение модифицированного критерия τ , в который вводится дополнительный защитный интервал $r_{\text{зашц}}$, позволяющий учесть погрешности при маневрировании ВС. Решение об опасности принимается при условии:

$$\tau \leq (r_0 + r_{\text{зашц}}) / V_{\text{сбл}}.$$

ЗАДАНИЕ 8

Найти защитный интервал $r_{\text{защ}}$ при трех значениях $r_0 = 2000$ м, 3000 м и 4000 м, если $V_{\text{сбл.}} = 110$ м/с, а $\tau = 30$ с.

Литература

1. Анодина Т.Г., Кузнецов А.А., Маркович Е.Д. Автоматизированные системы УВД. – М.: Транспорт, 1992.
2. Автоматизированные системы УВД / под ред. С.Г. Пятко и А.И. Красова. – СПб: Политехника, 2004.
3. Логвин А.И., Власов А.Ю. Организация воздушного движения. – М.: МГТУ ГА, 2008.
4. Единая методика расчета высот (эшелонов) полета ВС. Приложение к Федеральным авиационным правилам полетов в воздушном пространстве РФ, 2002.

Функция распределения Лапласа

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-t^2/2} dt$$

Z	$\Phi(z)$
0,0	0,00
0,1	0,04
0,2	0,07
0,3	0,12
0,4	0,16
0,5	0,19
0,6	0,23
0,7	0,26
0,8	0,29
0,9	0,32
1,0	0,34
1,1	0,36
1,2	0,39
1,3	0,40
1,4	0,42
1,5	0,43
1,6	0,44
1,7	0,45
1,8	0,46
1,9	0,47
2,0	0,48
2,1	0,48
2,2	0,49
2,3	0,49
2,4	0,49
2,5	0,49

Для заметок

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Тема № 1. Определение пропускной способности элемента воздушного пространства	4
ПЗ-1.1. Постоянная скорость движения воздушных судов.....	4
ПЗ-1.2. Переменная скорость движения ВС	8
Тема № 2. Расчет безопасных высот (эшелонов) полета.....	11
ПЗ-2.1. Расчет безопасной высоты круга полетов над аэродромом	11
ПЗ-2.2. Расчет безопасной высоты полета ниже нижнего (безопасного) эшелона и расчета нижнего (безопасного) эшелонов полета.....	14
Тема № 3. Нормы эшелонирования при радиолокационном УВД	17
ПЗ-3.1. Определение значений нормированной корреляционной функции случайного процесса пересечений уровня норм эшелонирования.....	17
ПЗ-3.2. Определение характеристик случайного процесса пересечения уровня норм эшелонирования	20
Тема № 4. Конфликтные ситуации при движении ВС и критерии их оценки	20
ПЗ-4.1. Определение времени маневра ВС при возникновении конфликтной ситуации	20
ПЗ-4.2. Определение временных соотношений при возникновении конфликтной ситуации	22
Литература	24
Приложение 1	25

Редактор Е.В. Гаранина

Подписано в печать 28.02.13 г.

Печать офсетная
1,63 усл.печ.л.

Формат 60x84/16
Заказ № 1572/

1,52 уч.-изд. л.
Тираж 100 экз.

Московский государственный технический университет ГА
125993 Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20
Редакционно-издательский отдел
125493 Москва, ул. Пулковская, д.6а