**Введение**

В данное пособие к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Теория УВД» включены описания 3-х лабораторных работ:

1. Оптимизация размера зоны УВД для обеспечения минимальной вероятности столкновения воздушных судов.
2. Обеспечение безопасности полетов в точке пересечения воздушных трасс.
3. Прогнозирование и анализ конфликтных ситуаций.

Описание каждой лабораторной работы построено на общей схеме, включающей в себя постановку задачи, описание метода ее решения с приведением необходимых формул и контрольные вопросы для защиты лабораторной работы.

Исходные данные для выполнения лабораторной работы задает преподаватель.

После выполнения экспериментальной части работы должен быть оформлен отчет, содержащий:

- титульный лист,

- название и цель работы,

- краткие теоретические сведения, основные понятия и их взаимосвязь,

- текст программы,

- результаты расчетов,

- выводы по работе.

Для подготовки к защите работы необходимо ответить на контрольные вопросы.

**Литература**

1. Крыжановский Г.А. Введение в прикладную теорию УВД. - М.: Машиностроение, 1984.

2. Программирование на ЭВМ задач воздушной навигации и УВД./Под ред. Е.А. Копытова. - М.: Транспорт, 1999.

**Лабораторная работа № 1**

**Оптимизация размера зоны УВД для обеспечения минимальной вероятности столкновения воздушных судов**

Под безопасностью воздушного движения понимают совокупность факторов, исключающих угрозу жизни и здоровью пассажиров и экипажей воздушных судов в процессе выполнения полета.

Различают две группы факторов, обеспечивающих безопасность воздушного движения:

- первая группа связана со строгим выполнением правил полетов, управления воздушным движением и требований летной эксплуатации воздушных судов;

- вторая группа обусловлена прочностью конструкции воздушных судов, надежностью работы двигателей и бортовых систем.

К числу основных факторов первой группы, обеспечивающих безопасность воздушного движения, относятся совершенство организации полетов; УВД и точность навигации воздушных судов по этапам полета; высокий уровень специальной подготовки и дисциплины экипажей воздушных судов; диспетчеров и работников служб, обеспечивающих полеты; знание и строгое выполнение требований по обеспечению безопасности воздушного движения, изложенных в документах, регламентирующих полеты и летную эксплуатацию воздушных судов.

По методике, применяемой в гражданской авиации нашей страны, и рекомендациям ИКАО количественная характеристика безопасности воздушного движения может быть выражена двумя методами: вероятностью столкновения воздушных судов за один полет и вероятностью отказа авиационной техники за один полет или наработкой в часах на один отказ, связанный с угрозой безопасности полета.

Вероятность столкновения воздушных судов в границах зоны УВД как мера безопасности воздушного движения может быть определена по эмпирической формуле, параметры которой поясняются схемой, приведенной на рис. 1.

 S1

S2

 ностью отказа авиационной техники за один полет или наработкой в часах на один отказ, связанный с угрозой безопасности п

Зона УВД

Rзон

Hзон

**Рис. 1.** Вариант схемы движения воздушных судов в границах зоны УВД

при их вероятном столкновении

Вероятность столкновения воздушных судов:

$$P\_{ст}=1-е^{-\frac{S(N-1)^{2}\*r\_{кр}^{2}}{R\_{зон}^{2}\*H\_{зон}}}$$

где *S*$ $– путь, проходимый воздушными судами в границах зоны УВД;

*rкр* – радиус критической зоны вокруг воздушного судна, вход в которую другого судна означает их столкновение;

*N* – количество воздушных судов в границах зоны УВД;

*Rзон* – средний радиус зоны УВД;

*Hзон –* высота зоны;

*E –* основание натуральных логарифмов.

Формула получена по результатам моделирования движения воздушных судов в границах аэродромных узлов.

В качестве допустимого критерия безопасности, выраженного через вероятность столкновений воздушных судов, по рекомендациям ИКАО принята $P\_{ст}$=4×10-8 столкновений на один полет.

Расчету по приведенной формуле должно предшествовать получение зависимости высоты зоны УВД от его радиуса при условии постоянства суммы этих параметров.

Для каждой пары «высота-радиус» необходимо подсчитать вероятность столкновения ВС. Результат должен быть представлен графически, и его анализ позволяет определить оптимальный размер зоны УВД с точки зрения минимума вероятности столкновения.

**Контрольные вопросы к лабораторной работе № 1**

1. Назовите группы факторов, обеспечивающих безопасность воздушного движения.
2. Какие конкретные факторы составляют каждую группу?
3. Какими количественными параметрами может быть охарактеризована безопасность воздушного движения?
4. От каких факторов зависит вероятность столкновения воздушных судов в пределах данной зоны УВД?
5. Каков допустимый критерий безопасности воздушного движения, принятый по рекомендациям ИКАО?

**Лабораторная работа № 2**

**Обеспечение безопасности полетов в точке пересечения воздушных трасс**

*Постановка задачи.* Размер районов (зон) УВД и время нахож­дения воздушных судов под управлением диспетчеров районных центров (РЦ) позволяют применять в них все виды регулирования движения ВС более эффективно, чем в других зонах управления.

Пересечение занятых эшелонов рекомендуется производить после расхождения самолетов, особенно при полете на встречных курсах. При этом полностью исключается возможность сближения и обеспечиваются установленные безопасные интервалы эшелонирования. Однако в ряде случаев на практике применяют способ пересечения занятых эшелонов (встречных и попутных) в режиме снижения на установленных интервалах продольного эшелонирования до расхождения самолетов. В этих случаях диспетчер обязан определить минимальное расстояние между самолетами в момент их нахождения на смежных эшелонах, на котором может быть начат маневр по пересечению занятого эшелона с заданным режимом снижения или набора.

При схождении двух самолетов, летящих на одном эшелоне по разным воздушным трассам в точку их пересечения, диспетчер должен проанализировать возможность расхождения самолетов на установленном интервале эшелонирования, который должен быть равен 40 км и более при попутном и встречном пересечениях. Пересечение можно считать встречным, если трассы пересекаются под углом более 70°, а полет ВС выполняется на встречно – пересекающихся курсах, попутным – если трассы пересекаются под углом менее 70°, а полет ВС выполняется на попутно-пересекающихся курсах. Установив на основе анализа воздушной обстановки необходимость регулирования движения самолетов, диспетчер должен произвести соответствующие расчеты, которые достаточно просто реализовать на ЭВМ. С этой целью разработана программа, представленная ниже.



$Рис. 2. Схема определения S\_{н.м.} $при пересечении встречного эшелона

Метод решения. Рассмотрим две задачи – А и Б, решаемые диспетчером при регулировании движения самолетов.

А. Расчет минимального расстояния для начала маневра ВС при пересечении эшелона, занятого другим ВС. Суть задачи за­ключается в следующем. В момент начала маневра T2 между маневрирующим (набирающим высоту) и летящим на встречном (попутном) эшелоне самолетами должно быть расстояние Sн.м, обеспечивающее безопасность их расхождения. Задачу решим от­дельно для встречного и попутного эшелонов. В момент пересечения встречного эшелона T2, занятого другим ВС, между воздушными судами должен быть минимальный интервал продольного эшелонирования Smin не менее 30 км. В соответствии со схемой, представленной на рис. 2, минимальное расстояние для начала маневра определяется по формуле:

$$S\_{н.м}=S\_{сбл}+S\_{min}=S\_{сбл}+30$$

Расстояние, на которое сблизятся ВС за время выхода манев­рирующего самолета на занятый эшелон:

$S\_{сбл}=\frac{ΔH\_{эш}}{V\_{в}}(W\_{1}+W\_{2})$*;*

где $ΔH\_{эш} $– интервал вертикального эшелонирования;

 Vв – вертикальная скорость маневрирующего ВС;

 W1,W2 – путевые скорости соответственно первого и второго ВС.

При подаче команды на выполнение маневра по пересечению заданного эшелона диспетчер должен увеличить расстояние SН.М. на поправку SРС, учитывающую продолжительность сеанса радиосвязи и осмысливание команды экипажем.

Для встречного пересечения поправка SРС зависит от суммарной скорости $W\_{1}+W\_{2}$ и определяется из выражения:

 $ S\_{рс}=\left\{\begin{array}{c}5 км, если W\_{1}+W\_{2}\leq 600км/ч;\\10 км, если 600км/ч< W\_{1}+W\_{2}\leq 1200км/ч;\\15 км, если W\_{1}+W\_{2}>1200км/ч;\end{array}\right.$ (1)

При пересечении попутного эшелона, занятого другим ВС, может быть два случая маневрирования: «до догона» и «после обгона» ВС.



**Рис.3.** Схема определения SН.М. при пересечении попутного эшелона «до догона»

На рис. 3 показаны элементы маневра ВС в случае пересечения эшелона «до догона». Расстояние Sн.м. рассчитывается аналогично способу, представленному выше, по формуле:

 $S\_{н.м.}=S\_{сбл}+30$,

где $S\_{сбл}=\frac{2ΔH\_{эш}}{V\_{в}}(W\_{1}-W\_{2})$.

Искомую величину Sн.м. необходимо увеличить на поправку $S\_{рс}$, которая для попутного пересечения зависит от разности скоростей $W\_{1}-W\_{2}$ и определяется из выражения:

 $S\_{рс}= \left\{\begin{array}{c}5 км, если W\_{1}-W\_{2}\leq 300км/ч;\\10 км, если W\_{1}-W\_{2}>300км/ч;\end{array}\right.$ (2)

Расчет $S\_{н.м.}$ в случае пересечения попутного эшелона «после обгона» выполним в соответствии со схемой, представленной на рис. 4, по формуле:

 $S\_{н.м.}=S\_{min}-S\_{сбл}=20-S\_{сбл}$,

где $S\_{сбл}=\frac{ΔH\_{эш}}{V\_{в}}\left(W\_{1}-W\_{2}\right).$

Б. Регулирование маневрирования скоростью и высотой. Данная задача решается в случае, если интервал фактического расхождения двух ВС, летящих на одном эшелоне, меньше минимального потребного интервала. Регулирование движения самолетов направлено на увеличение фактического интервала расхождения и достигается путем изменения путевой скорости одного или обоих.



**Рис. 4.** Схема определения $S\_{н.м.} $при пересечении попутного эшелона «после обгона» ВС или изменением высоты полета ВС

Целью решения задачи является определение скоростей ВС после их коррекции.

Процесс решения задачи включает следующие три этапа: расчет фактического интервала расхождения ВС в точке пересечения трасс, определение потребного интервала расхождения ВС, принятие решения о необходимости регулирования движения самолетов.

Расчет фактического интервала расхождения ВС выполняется в следующем порядке:

1. Определяется время полета (в минутах) каждого самолета от точки пересечения трасс:

$$ t\_{1}=\frac{S\_{1}}{W\_{1}}60; t\_{2}=\frac{S\_{2}}{W\_{2}}60;$$

где $S\_{1}$, $S\_{2}$ – удаление от точки пересечения трасс соответственно первого и второго ВС, км.

1. Определяется фактический временной интервал расхождения самолетов: $∆t=\left|t\_{1}-t\_{2}\right|$.
2. Определяется линейный интервал расхождения самолетов (в километрах). Отметим, что независимо от того, какой самолет выходит в точку пересечения первым (более скоростной или менее), наименьший интервал расхождения самолетов будет в тот момент, когда в точке пересечения трасс находится более скоростной самолет. Из этого следует, что минимальное расстояние между самолетами (фактический линейный интервал расхождения ВС) определяется по скорости менее скоростного самолета:

$d\_{расх}=∆tW\_{м}/60$.

Путевая скорость менее скоростного самолета определяется из выражения:

$$W\_{м}=\left\{\begin{array}{c}W\_{1, }если W\_{1}\leq W\_{2}\\W\_{2}, если W\_{1}>W\_{2}\end{array}\right.$$

Заданный интервал расхождения самолетов определяется по формуле:

$d\_{зад}=40+S\_{рс}$.

Поправка $S\_{рс}$ определяется по формулам (1) для встречного и (2) для попутного пересечения воздушных трасс.

Решение о необходимости регулирования движения самолетов, летящих в точку пересечения трасс, принимается путем сравнения фактического линейного интервала расхождения ВС с заданным:

а) если $ d\_{расх}\geq d\_{зад}$, то достаточно только проконтролировать выдерживание самолетами установленного режима полета;

б) если $ d\_{расх}<d\_{зад}$, то диспетчер обязан применить один из видов регулирования движения ВС и обеспечить расхождение самолетов на установленном интервале $d\_{зад}$*,* по возможности обеспечивая регулярность полетов.

Для регулирования движения ВС необходимо определить разность потребного и фактического интервалов расхождения ВС:

$∆d=d\_{зад}- d\_{расх} $.

Тогда требуемое изменение скорости:

$∆V=∆d/ t\_{1} $.

Время полета до точки пересечения самолета, выходящего в нее первым:

$$ t\_{1}=\left\{\begin{array}{c} t\_{1}, если t\_{1}\leq t\_{2}\\ t\_{2}, если t\_{1}>t\_{2}\end{array}\right.$$

На полученную величину $∆V$ необходимо уменьшить скорость самолета, выходящего в точку пересечения вторым, т. е. если $ t\_{1}\leq t\_{2}$, то $W\_{3}=W\_{1}-∆V$; $W\_{4}=W\_{2}; $если $t\_{1}>t\_{2}$, то $W\_{3}=W\_{1}$; $W\_{4}=W\_{2}-∆V.$

Здесь $W\_{3}$ и $W\_{4}$ соответственно скорости 1-го и 2-го самолетов после коррекции.

Если $∆V$ велико, можно изменить на $∆V$/2 скорости обоих самолетов (менее скоростного ВС на — $∆V$/2, более скоростного + $∆V$/2), если это не выходит за пределы возможностей самолетов. В предлагаемой программе применяется именно этот способ измене­ния скорости.

Описание программы. Изложенный метод решения задач А и Б реализован в программе. Программа составлена на языке BASIC для ПЭВМ типа IBM PC. Для выполнения программы на других типах ЭВМ необходимо соответствующим образом изменить строки программы, содержащие операторы COLOR, CLS, KEY,

А$= INPUT$(1), LOCATE, ON A GOTO.

5 REM Программа.

8 REM Управление воздушным движением.

10 COLOR 15,1 : KEY 0FF:CLS

20 LOCATE 9,13 : PRINT STRING$ (54,196)

30 LOCATE 11,14:PRINT "Обеспечение безопасности полетов в точке пересечения".

40 LOCATE 13, 33 : PRINT "воздушных трасс."

50 LOCATE 15,13 : PRINT STRING$ (54,196)

60 LOCATE 18,30 : PRINT "Нажмите клавишу пробел.": A$=INPUT$(1)

65 CLS: LOCATE 20,20 : PRINT "Введите код расчета:"

70 CLS: LOCATE 8,17 : PRINT "1 - Расчет S н.м. при пересечении занятого Н эш."

80 LOCATE 10,17 : PRINT "2 - Регулирование маневрирования скоростью (высотой)."

90 LOCATE 12, 17 : PRINT "3 - Конец расчета."

100 LOCATE 15,17 : INPUT "Введите код расчета: ",А : IF А<1 OR А>3 THEN 70

110 ON A GOTO 640, 120, 810

120 CLS : LOCATE 3,36 : PRINT "Введите:"

130 LOCATE 5,13:PRINT "Удаление (SI) более скоростного ВС от точки пересечения"

140 LOCATE 6,13:1NPUT "воздушных трасс, км; его скорость, км/ч; тип:",S1,VI, Т1$

150 LOCATE 8,13:PRINT "Удаление (S2) менее скоростного ВС от точки пересечения"

160 LOCATE 9,13:INPUT "воздушных трасс, км; его скорость, км/ч; тип:", S2, V2, T2$

170 LOCATE 11,13:INPUT "Угол пересечения и воздушных трасс, град.:",Р

180 Tl =INT (Sl\*60/Vl+.5!) : T2-INT(S2\*60/V2+.5I):T3-ABS(T1-T2)

190 IF V1<V2 THEN S-INT ((T3\*V2)/60+.5!) : GOTO 195

193 S=INT ((ТЗ\*VI)/60+.51)

195 GOSUB 300 : D1=D+D5 : S0=D1-S

200 IF S>=D1 THEN LOCATE 10,24 : PRINT "Регулирование не проводить.": GOTO 70

230 CLS : LOCATE 8, 20 : PRINT "Применить один из видов регулирования :"

240 LOCATE 10,20 : PRINT "1 - Регулирование маневрированием скоростью"

250 LOCATE 12,20 : PRINT "2 - Регулирование по высоте"

260 LOCATE 14,20 : INPUT "Введите код регулирования : ",N : CLS

270 IF N<1 OR N>2 THEN 230

280 IF N=1 THEN 360

290 GOTO 520

300 IF P<=70 THEN LOCATE 5,30 : PRINT "Пересечение попутное.":D=20 : GOTO 330

305 LOCATE 7,30:PRINT "Пересечение встречное." : D=30

310 IF Vl+V2<= 600 THEN D5=5: G0T0 330

320 IF ABS (V1+V2)<-1200 THEN D5-10 GOTO 330

325 IF Vl+V2>1200 THEN D5=15

330 RETURN

360 IF T1<T2 THEN T0=T1 ELSE T0=T2

370 V5= S0\*60/T0 : V0= INT(V5/2+.51)

380 IF TKT2.THEN V3= V1+V0 : V4= V2-V0 : GOTO 390

385 V3=V1-V0 : V4=V2+V0

390 CLS : LOCATE 7,1 : PRINT STRING$ (78,196)

400 LOCATE 9,13 : PRINT "t п-та ";T1$;" до точки пересеч. трасс: tl=";Tl;" мин"

410 LOCATE 10,13 : PRINT "t п-та ";T2$;" до точки пересеч. трасс: t2=";T2;" мин"

420 LOCATE 11,13 : PRINT "Факт, временной интервал расхожд. ВС: Тф=";ТЗ;" мин"

430 LOCATE 12,13: PRINT "Факт, линейный интервал расхожд. ВС: Lф=";S;" км"

440 LOCATE 13,13 : PRINT "Потребный линейный интервал расхождения: Ln=";S;" км"

450 LOCATE 14,13 : PRINT "Для расхожд. на установленном интервале не менее 40 км"

460 LOCATE 15,13 : PRINT "требуется скорости ВС сменить на delta V=";V0;" км/ч"

470 LOCATE 16,30 : PRINT "ВС: ";Т1$, " V ист =";V3;" км/ч"

480 LOCATE 17,30 : PRINT "ВС: ";Т2$, " V ист =";V4;" км/ч"

490 LOCATE 18,1 : PRINT STRING$ (78,196)

500 LOCATE 22,30 : PRINT "Нажмите клавишу пробел.":A$=INPUT$(1):G0T0 70

510 CLS:LOCATE 5,30 : PRINT "Введите:"

520 LOCATE 7,13 : INPUT "Нэш маневрирующего ВС, км; его Vв, м/с; ", H1, V

530 LOCATE 9,13 : INPUT "Смежный эшелон с эшелоном маневрирующего ВС, м;", Н2

540 Н0= Н1-Н2 : T4(H0/(V\*60))

550 IF V1<V2 THEN C1= INT (Vl\*T4/60+.5!) ELSE C1= INT(V2\*T4/60+.5l)

560 GOSUB 300

570 C0=C1+D+D5 : CLS

580 LOCATE 7,1 : PRINT STRING$(78,196)

590 LOCATE 9,16 : PRINT "S набора при смене эшелона: ";С1;" км"

600 LOCATE 11,16 : PRINT "Команду на смену эшелона необходимо дать не позднее "

610 LOCATE 12,16 : PRINT "S = ";СО;" км, от маневрирующего ВС."

620 LOCATE 14,1 : PRINT STRING$ (78,196)

630 LOCATE 22, 30 : PRINT "Нажмите клавишу пробел.":A$= INPUT$( 1): G0T0 70

640 CLS: LOCATE 5, 36 : PRINT "Введите:"

650 LOCATE 7,11 : INPUT " H эш маневрирующего ВС, км ; ",Н1

655 LOCATE 9,11 : INPUT " V ист, км/ч; Va, м/с; маневрирующего ВС : ", V1,V

660 LOCATE 11,11 : INPUT "Н эш ВС, летящего на встречном (попутном) эшел, м;", Н2

665 LOCATE 13,11 : INPUT " V ист ВС, летящего на встречном (попут) эшел, км/ч;

670 H0=ABS(HI-Н2) : F1= ABS(V1-V2) : F2=V1+V2

680 LOCATE 15,11 : INPUT "При пересеч.встречн.эшел. введите-1; попутного-2; "

690 IF N1=1 THEN D= 30 : T4= (H0/(V\*60)) : GOSUB 310 : GOTO 720

695 D= 20 : T4= (H0/(V\*30)):C2=(F2\*T4)/60 :C3=INT( 10\*C2+.5l) : C4=C3+D : GOTO 730

720 C2= (Fl\*T4)/60 : C3= INT(10\* C2+.5!)/l0 : C4= C3+D+D5

730 LOCATE 7, 1 : PRINT STRING$ (78,196)

740 CLS:LOCATE 9,16 : PRINT "Min интервал продольного эшелонирования : ";D; " км"

750 LOCATE 11,16 : PRINT "S сближения ВС за время маневрирования : ";СЗ;" км"

760 LOCATE 13,16 : PRINT"S начала маневра : "; С4; " км"

770 LOCATE 15,1 : PRINT STRING$ (78,196)

780 LOCATE 22,30 : PRINT "Нажмите клавишу пробел." : A$=INPUT$(1) : GOTO 70

790 PRINT TAB(10); "Продолжить? -введите 1; Окончить?-введите 0" : INPUT N3

800 IF N3= 1 THEN 70

810 CLS : LOCATE 13,30 : PRINT " \*\*\* Конец расчета \*\*\* : END

В процессе работы программы пользователь в режиме диалога вводит код расчета. Если введен код «2», выполняется расчет для случая регулирования движения ВС маневрированием скоростью (или высотой). При этом в режиме диалога вводятся необходимые данные (строки 120÷170) и производится расчет $ d\_{расх}$ и $d\_{зад}$*,* после чего делается вывод информации о необходимости регулирования движения ВС (строки 200÷250). Далее вычисляется поправка AV и на экран дисплея выводятся предложения по изменению скорости ВС (строки 360÷480).

Если введен код «1», выполняется расчет потребного минимального расстояния для начала маневра ВС, для чего пользователь в режиме диалога вводит исходные данные (строки 640÷680), и программа выполняет необходимые расчеты, результаты которых выводятся на экран дисплея (строки 690÷770).

В каждом из рассмотренных случаев после вывода информации программа приостанавливает свою работу до тех пор, пока пользователь не нажмет клавишу пробела. После этого возврат программы производится на этап ввода кода расчета.

Если введен код расчета «3», программа завершает расчеты.

Обозначения основных переменных, используемых в программе, следующие:

1. Входные переменные:

А – код расчета, целое число 1, 2, 3;

$S\_{1}$ – удаление 1-го самолета от точки пересечения трасс ($S\_{1}$), км;

$S\_{2}$ – удаление 2-го самолета от точки пересечения трасс ($S\_{2}$), км;

$V\_{1}$ – путевая скорость 1-го самолета ($W\_{1}$), км/ч;

$V\_{2}$ – путевая скорость 2-го самолета ($W\_{2}$), км/ч;

Р – угол пересечения трасс ВС ($γ$), град;

Т1$,Т2$ – соответственно тип 1-го и 2-го самолетов;

V, H1 – вертикальная скорость и эшелон маневрирующего ВС(*Vв, Нэш*), м/с, м.

1. Выходные переменные:

Т1, Т2 – время полета 1-го и 2-го самолетов до точки пересечения трасс ($t\_{1}, t\_{2}$), мин;

ТЗ – фактический временной интервал расхождения ВС ($∆t$), мин;

S – фактический линейный интервал расхождения ВС ($ d\_{расх}$), км;

D1 – заданный линейный интервал расхождения ВС ($d\_{зад}$), км;

V3 – потребная скорость самолета, выходящего в точку пересечения первым ($W\_{3}$), км/ч;

V4 – потребная скорость самолета, выходящего в точку пересечения вторым ($W\_{4}$), км/ч;

D – минимальный интервал продольного эшелонирования ($S\_{н.м.}$),км;

СЗ – расстояние сближения самолетов за время маневрирования ($S\_{сбл}$), км;

С4 – удаление точки начала маневра ($S\_{н.м.}$), км.

Контрольные примеры

1. Рассчитать минимальный интервал продольного эшелонирования и минимальное удаление точки начала маневра для самолета, выполняющего маневр с высоты НЭШ = 6600 м со скоростью $W\_{1}$ = 850 км/ч и пересекающего занятый эшелон НЭШ2 = 7200 м, на котором ВС летит на встречном курсе со скоростью $W\_{2}$ = 450 км/ч.

Ответ: минимальный интервал продольного эшелонирования $S\_{сбл}$ = 22 км, $S\_{н.м.}$ = 72 км.

2. Рассчитать минимальный интервал продольного эшелонирования и минимальное удаление точки начала маневра для самолета, выполняющего маневр с высоты НЭШ1 = 3300 м со скоростью $W\_{1}$= 620 км/ч и пересекающего занятый эшелон НЭШ2 = 3900 м, на котором ВС летит на попутном курсе со скоростью $W\_{2}$ = 450 км/ч.

Ответ: минимальный интервал продольного эшелонирования $S\_{сбл}$ = 8,7 км, $S\_{н.м.}$ = 33,7 км.

3. Два самолета Ту-134 и Як-40 летят на одном эшелоне по разным трассам в точку их пересечения со скоростями соответственно $W\_{1}$ = 780 км/ч и $W\_{2}$ = 530 км/ч. Удаление самолетов от точки пересечения для Ту-134$ S\_{1}$ = 155 км, для Як-40 $S\_{2}$ = 80 км. Угол пересечения 60$°$.

Проанализировать возможность расхождения ВС на установленном интервале и в случае необходимости провести регулирование движения самолетов маневрированием скоростью.

После выполнения программы получаем ответ на экране дисплея: пересечение попутное, $t\_{1}$ = 12 мин, $t\_{2}$ = 9 мин, временной интервал расхождения $∆t$ = 3 мин, линейный интервал расхождения $ d\_{расх}$= 26,5 км, заданный интервал $d\_{зад}$= 45 км. Необходимо скорректировать скорость каждого ВС на $∆V/2$ = 62 км/ч. После коррекции скорость самолета Ту-134, выходящего в точку пересечения вторым, составляет 718 км/ч, скорость самолета Як-40, выходящего в точку пересечения первым, – 592 км/ч.

**Контрольные вопросы к лабораторной работе № 2**

1. Какие пересечения воздушных трасс называются попутными и встречными?

2. Поясните различия ситуаций маневрирования «до догона» и «после обгона».

3. От каких параметров зависит минимальное расстояние начала маневра?

4. От чего зависит поправка, связанная с передачей команды диспетчера по радиосвязи, при встречном и попутном пересечениях?

5. В каком случае применяется регулирование маневрирования скоростью и высотой, и в чем состоит алгоритм решения этой задачи?

**Лабораторная работа № 3**

**Прогнозирование и анализ развития конфликтных ситуаций**

*Постановка задачи*. Чаще всего конфликтные ситуации в полете ВС возникают в режиме набора (снижения) заданной высоты при пересечении занятого эшелона, а также при схождении воздушных судов, летящих на одном эшелоне в местах пересечения воздушных трасс. Представленная ниже программа выполняет расчеты, необходимые для определения конфликтной ситуации.

***Метод решения*.** Рассмотрим 3 случая возникновения конфликт­ной ситуации.

1. *За менее скоростным самолетом вылетает более скоростной. Оба самолета следуют по одному маршруту с набором заданных эшелонов.* Схема, иллюстрирующая данный случай полета, представлена на рис. 5. На схеме используются следующие обозначения:

$S\_{1}$ – удаление первого самолета от аэродрома вылета в момент пересечения его высоты вторым самолетом;

$S\_{2}$ – удаление второго самолета от аэродрома вылета в момент пересечения высоты первого самолета;



**Рис. 5.** Схема расхождения воздушных судов (первый случай)

$ d\_{расх}$ – интервал расхождения самолетов в момент пересечения вторым самолетом высоты, занятой первым;

$H\_{1}, H\_{2}$ – высоты полета ВС в момент расхождения;

$∆H\_{расх}$ = $H\_{2}– H\_{1}$ – интервал по высоте между ВС в момент расхождения;

Sдог – удаление ВС от аэродрома вылета в момент расхождения.

Считается, что определены скорости ВС, т. е. известны:

$V\_{в1},$ $W\_{1}$ – вертикальная и путевая скорости первого самолета;

$V\_{в2},$ $W\_{2}$ – вертикальная и путевая скорости второго самолета.

Определим разность скоростей рассматриваемых ВС:

В зависимости от соотношения между величинами возможны следующие варианты расхождения ВС:

а) если $\frac{V\_{в1}}{∆V\_{в}}<\frac{W\_{1}}{∆W} $, пресечение высоты, занятой первым самоле­том, произойдет до его обгона вторым самолетом;

б) если $\frac{V\_{в1}}{∆V\_{в}}>\frac{W\_{1}}{∆W}$ , пересечение произойдет после обгона;

в) если $\frac{V\_{в1}}{∆V\_{в}}=\frac{W\_{1}}{∆W}$, то имеет место опасное сближение ВС.

Рассчитаем элементы, характеризующие процесс расхождения ВС:

$t\_{перес 1}=\left(\frac{V\_{в1}}{∆V\_{в}}+1\right)∆t; t\_{перес 2}=\frac{V\_{в1}}{∆V\_{в}}∆t$*,*

где $ ∆t$ – временной интервал взлета и следования по маршруту воздушных судов;

$ t \_{перес 1}$ – время полета первого самолета до момента пересечения его высоты вторым самолетом;

$ t\_{перес 2}$ – время полета второго самолета до момента пересечения высоты, занятой первым самолетом;

$$S\_{1}=W\_{1}t\_{перес 1}; S\_{2}=W\_{2}t\_{перес 2} ;$$

$$t\_{дог 1}=\left(\frac{W\_{1}}{∆W}+1\right)∆t; t\_{дог 2}=\frac{W\_{1}}{∆W}∆t;$$

где $ t\_{дог 1}-$ время полета первого самолета до момента расхождения;

$ t\_{дог 2}-$ время полета второго самолета до момента расхождения.

2. *Первый самолет после взлета набирает высоту заданного эшелона. Второй самолет выполняет полет на встречном эшелоне* (рис. 6).

В зависимости от соотношения между величинами $t\_{расх}$ и $ t\_{перес } $возможны следующие варианты расхождения ВС:

а) если $t\_{расх}$ >$ t\_{перес }$, пересечение занятого эшелона произойдет до расхождения ВС;

б) если $t\_{расх}$ $< t\_{перес }$, пересечение произойдет после расхождения ВС;

в) если $t\_{расх}$ $= t\_{перес },$ имеет место опасное сближение.

Расчет элементов, характеризующих процесс расхождения ВС, выполняется по следующим формулам:

$t\_{расх}=S\_{исх}/(W\_{1}+W\_{2}); $ $ t\_{перес }=H\_{эш}/V\_{в1};$ $∆H\_{расх}=H\_{эш}-H\_{расх};$

$S\_{перес}=W\_{1} t\_{перес };$ $S\_{расх}=W\_{1} t\_{расх };$ $d\_{расх}=S\_{расх}-S\_{перес}. $

3. Менее скоростной самолет после взлета набирает заданный эшелон, второй самолет выполняет полет на попутном эшелоне. Схема, иллюстрирующая данный случай полета, представлена на рис. 7. Условия, определяющие три варианта расхождения ВС, указаны при описании второго случая. Расчет элементов, характеризующих процесс расхождения ВС, выполняется по следующим формулам:

$t\_{расх}=S\_{исх}/(W\_{2}-W\_{1}); $ $ t\_{перес }=H\_{эш}/V\_{в1};$

$H\_{расх}=V\_{в1}t\_{расх };$ $∆H\_{расх}=H\_{эш}-H\_{расх};$

$S\_{перес}=W\_{1} t\_{перес };$ $S\_{расх}=W\_{1} t\_{расх };$ $d\_{расх}=S\_{расх}-S\_{перес}; $



**Рис. 6.** Схема расхождения воздушных судов (второй случай)



**Рис. 7**. Схема расхождения воздушных судов (третий случай)

**Описание программы.** Программа реализует рассмотренный метод анализа развития конфликтных ситуаций. Программа разработана на языке БЕЙСИК для ПЭВМ типа IBM PC. Для ее выполнения на других типах ЭВМ необходимо соответствующим образом изменить строки программы с номерами 20, 60, 70, 90, 130, 140, 150, 260÷300, 700, 820, 830, 1000, 1280.

5 REM Программа.

10 REM Конфликтные ситуации, их прогноз и анализ.

20 COLOR 14,1,12 : CLS : Z=60 : LOCATE 6.14

25 LOCATE 4,14 ; PRINT STRING$ (55,196)

30 PRINT TAB(14); \*\*\*\*\*\*\*\*Условия развития конфликтных ситуаций \*\*\*\*\*\*\*\*

40 PRINT ТАВ (14); "прогноз и анализ."

50 LOCATE 7, 14 : PRINT STRING$(55,196)

60 LOCATE 12, 31 : COLOR 13

70 LOCATE 10, 31 : PRINT "Инструкция": COLOR 14

80 LOCATE 11, 30 : PRINT STRING$(22,196)

90 LOCATE 13,14

100 PRINT "Расчетные элементы вводить через запятую или по одному."

110 PRINT ТАВ(22);"Время вводить в часах и минутах"

120 LOCATE 15,14 : PRINT STRING$(55,196)

130 LOCATE 20,15: PRINT "Нажмите клавишу пробел."

140 A$=INPUT$(1)

150 CLS : LOCATE 8,19

160 PRINT TAB(14);"Введите КОД заданного расчета:"

170 PRINT ТАВ(12);""

180 PRINT

190 PRINT TAB(12);"1 - Случай 1-й. За менее скоростным вылетает"

200 PRINT ТАВ(28);" более скоростное ВС." : PRINT

210 PRINT ТАВ(12);"2 - Случай 2-й. 1-е ВС, после взлета, набирает высоту,"

220 PRINT ТАВ(28);"2-е выполняет полет на встречном эшелоне." : PRINT

230 PRINT TAB(12);"3 - Случай 3-й. 1-е, менее скоростное ВС, набирает вы-"

240 PRINT ТАВ(28);"соту, 2-е летит на попутном эшелоне." : PRINT

250 PRINT ТАВ(12);"4 - конец расчета."

260 A=VAL(INPUT$(1))

270 ON A GOTO 310, 520, 680, 1280

280 CLS : LOCATE 12,25 : COLOR 12

290 BEEP : PRINT "Вы ошиблись. Повторите ввод кода"

300 COLOR 14 : GOTO 130

310 G0SUB 700 : GОSUB 800 : G0SUB 850 : GОSUB 900

320 PRINT TAB( 13):" "

330 IF X$<>$Y THEN PRINT TAB(17);"Анализ полета :":GОTО 350

340 PRINT TAB(13); "Анализ развития КОНФЛИКТНОЙ СИТУАЦИИ : "

350 PRINT TAB(13);"\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*"

360 PRINT TAB(13); "t п-та 1-го ВС до момента пересеч.эшел.занятого 2-м ВС:"

370 PRINT TAB(49); "t 1 =";К1;" мин ";КЗ;" с "

380 PRINT ТАВ(13); " t набора Н до пересеч.занятого эшелона=";Т5;" мин";Т7;" с

390 PRINT ТАВ(13); "Т пересеч.занятого эшелона »";Т9;" час";К5;" мин";К7;" с"

400 PRINT ТАВ(13); "Удаление ВС от аэродрома вылета: S1 = "; S2;" км"

410 PRINT TAB(46); "S2 =" ; S4;" км."

420 PRINT TAB(13); "S между ВС на момент пересечения занятого эшелона="; D;" км

430 PRINT TAB(13); "t п-та 1-го ВС ДО догона его 2-м BC-";Y5;" мин"; Y 7;" с"

440 PRINT ТА8(13);t п-та 2-го ВС ДО догона им 1-го BC-";Y1;" мин"; YЗ;" с"

450 PRINT TAB(13); "t догона 1-го ВС -";А1;" час";АЗ;" мин";А5;" с"

460 PRINT ТАВ(13);"Высота полета 1-го ВС в момент догона: Н1=";Н1;" м."

470 PRINT ТАВ(13);"Высота полета 2-го ВС в момент догона: Н2=";Н2;" м."

480 PRINT ТАВ(13);"Интервал эшелонирования по высоте В Т расхожд.: Н=";Н0;"м"

490 PRINT ТАВ(13);"Удаление ВС от аэродрома В Т догона: S = ";S;" км"

500 PRINT ТАВ(13); " "

510 GOTO 130

520 GOSUB 700 : GOSUB 1140 : GOSUB 1180 : GOSUB 1000

530 PRINT ТАВ(13);"

540 IF X$<>$Y THEN PRINT TAB(17);"Анализ полета :":GОT0 560

550 PRINT TAB(13); "Анализ развития КОНФЛИКТНОЙ СИТУАЦИИ : "

560 PRINT ТАВ(13); " "

570 PRINT TAB(13); "t п-та 1-го ВС до расхождения =";Х1;" мин"; ХЗ; " с"

580 PRINT ТАВ(13); "Т расхождения ВС ="; Т6;" ч";Т8;" мин";Т0;" с"

590 PRINT TAB(13); "t п-та 1-го ВС до пересеч.эшел.2-го ВС-";К1;" мин";КЗ;"

600 PRINT ТАВ(13); "Т пересеч.эшелона 2-го ВС-";К5;" ч ";К7;" мин";К9;" с"

610 PRINT ТАВ(13); "Высота п-та 1-го ВС в момент расхождения="; Н1;" м."

620 PRINT ТАВ(13);'Интервал эшелонир.по высоте в момент расхожд.= ";Н;" м."

630 PRINT ТАВ(13);"Удаление точки пересеч.от аэродрома вылета =";S1;" км"

640 PRINT ТАВ(13);"Удаление точки расхожд.от аэродрома вылета -";S2;" км"

650 PRINT TAB(13);"S между ВС в момент пересеч.эшелона="; D;" км"

660 PRINT ТАВ(13);""

670 GOTO 130

680 GОSUB 700 : GOSUB 800 : COSUB 1140 : GOSUB 1190 : GOSUB 1000 : GOTO 530

690 \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Подпрограммы\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

700 CLS : LOCATE 6,35 : PRINT "Введите :" : PRINT

710 PRINT TAB(13); "Время отхода от аэродрома вылета 1-го ВС .......... ";

720 INPUT " ", ТЗ, М1

730 PRINT ТАВ(13); "Скорость полета 1-го ВС……………";

740 INPUT " ", W1

750 PRINT TAB(13);"V вертикальная набора высоты 1-м ВС ………";

760 INPUT " ", V1

770 PRINT ТАВ(13);"Скорость полета 2-го ВС…………… ";

780 INPUT " ", W2

790 RETURN

800 W0= W2-W1

810 IF W2<=W1 THEN 820 ELSE 840

820 COLOR 13 : PRINT ТАВ(27);"ПРИ V2<V1 - НЕТ РЕШЕНИЯ"

830 COLOR 14 : GOTO 770

840 RETURN

850 PRINT TAB(13); "Время отхода от аэродрома вылета 2-го ВС ........;

860 INPUT " " Т4,М2

870 PRINT ТАВ(13);"V вертикальная набора высоты 2-м ВС………..";

880 INPUT " " ,V2

890 RETURN

900 V0= ABS(V2-V1) : T1=(T3\*Z)+M1 : T2= (T4\*Z)+M2

910 T0=T2-T1 : X=(V1/V0)\*T0 : T5=INT(X) : T6=(X-T5)\*Z : T7=INT(T6)

920 K=X+T0 : Kl=INT(K) : K2=(K-K1)\*Z : K3=INT(K2) : T8=(T2+X)/Z

930 T9=INT(T8) : K4=(T8-T9)\*Z : K5=INT(K4) : K6=(K4-K5)\*Z : K7=INT(K6)

940 S1=(W1\*K)/Z : S2=INT(S1) : S3=(W2\*X)/Z : S4-INT(S3) : D1=ABS(S4-S2)

950 D=INT(10\*D1+.51)/10 : Y=(W1/W0)\*T0 : Yl=INT(Y) : Y2=(Y-Y1)\*Z

960 Y3=INT(Y2) : Y4=Y+T0 : Y5=INT(Y4) : Y6=(Y4-Y5)\*Z : Y7=INT(Y6)

970 A=(T2+Y)/Z : Al=INT(A) : A2=(A-A1)\*Z : A3=INT(A2) : A4=(A2-A3)\*Z

980 A5=INT(A4) : H1=INT( 10\*( V1\*Y4)\*Z+.51 )/10 : H2=INT( 10\*(V2\*Y)\*Z+.51 )/10

990 H0=ABS(H2-H1) : S=INT(10\*(W2\*Y)/Z+.51)/10

1000 CLS

1010 PRINT TAB(13);" "

1020 IF X-Y THEN 1100

1030 IF X<Y THEN 1070

1040 PRINT TAB(13); "Пересечение высоты 1-го ВС произойдет после его обгона"

1050 PRINT ТАВ(13); " "

1060 GOTO 1130

1070 PRINT ТАВ(13); "Пересечение высоты 1-го ВС произойдет до его обгона."

1080 PRINT ТАВ(13); " "

1090 GOTO 1130

1100 PRINT ТАВ(13); "ВНИМАНИЕ!!! Создались условия опасного сближения"

1110 PRINT ТАВ(13);" Дайте команду:- уменьшить V вертик.скорость 1-го ВС"

1120 PRINT ТАВ(13);" "

1130 RETURN

1140 PRINT ТАВ(13);"Эшелон п-та и удаление 2-го ВС от аэродрома"

1150 PRINT ТАВ( 14);"вылета 1-го ВС…………………………………. ";

1160 INPUT " ", H2, S3

1170 REJURN

1180 W0=ABS(W2+W1)

1190 X=(S3\*Z)/W0 : Xl=INT(X) : X2=(X-X1)\*Z : X3=INT(X2)

1200 T1= ((T3\*Z)+M1) : T2=((T4\*Z)+M2) : T5=(T1+X)/Z : T6=INT(T5)

1210 T7=(T5-T6)\*Z : T8=INT(T7) : T9=(T7-T8)\*Z : T0=INT(T9)

1220 Y=(H2/V1)/Z : Kl=INT(Y) : K2=(Y-K1)\*Z : K3=INT(K2)

1230 K4=(T1+Y)/Z : K5=INT(K4) : K6=(K4-K5)\*Z : K7=INT(K6)

1240 K8=(K6-K7)\*Z : K9=INT(K8) : Hl=((V1\*X)\*Z+.5l) : H=ABS(H2-H1)

1250 S1=INT(10\*(W1\*Y)/Z+.51)/10 : S2=INT(10\*(W1\*X)/Z+.51)/10

1260 D=ABS(S2-Sl)

1270 RETURN

1280 CLS : LOCATE 12,27

1290 PRINT " \*\*\* Конец расчета \*\*\*" : END

В процессе работы программы на экран дисплея выводится заголовок программы, инструкция для ввода данных и меню для выбора режима расчета. Пользователь в режиме диалога вводит код расчета (строки 160÷260). Если введена цифра (код) 1, 2 или 3, выполняется анализ конфликтной ситуации для случая с номером, равным введенному коду. Если введен код «4»—программа за­вершает свою работу. Результаты расчетов, сопровождаемые подробными пояснениями и рекомендациями диспетчеру, выводятся на экран дисплея. После вывода порции информации программа приостанавливает свою работу, что достигается введением оператора A=INPUT$ (1) (см. строки 130, 140). Для продолжения вычислительного процесса пользователь нажимает клавишу пробела.

Обозначения основных переменных, используемых в программе, следующие:

1. Входные переменные:

А – код расчета, цифра 1, 2, 3 или 4;

ТЗ, Ml – время отхода от аэродрома первого ВС самолета (*T1*), ч, мин;

Wl, W2 – путевые скорости соответственно 1-го и 2-го самолетов (*W1, W2*),км/ч;

VI, V2 – вертикальные скорости соответственно 1-го и 2-го самолетов (*Vв1,Vв2*),м/с;

Т4, М2 – время отхода от аэродрома 2-го самолета (*Т2*), ч, мин.

1. Промежуточные переменные:

N$∅$ – разность вертикальных скоростей ($∆$*Vв*), м/с;

T1, Т2 – время отхода от аэродрома соответственно 1-го и 2-го ВС(*T1,Т2*), ч;

Т0 – интервал взлета (полета по маршруту) *(*$∆$*t*), мин;

X – отношение *Vв1/*$∆$*Vв*;

Y – отношение *W1/*$∆$*W*

1. Выходные переменные:

К1, КЗ – время полета 1-го самолета до момента пересечения ($t\_{перес 1}$), мин, с;

Т5, Т7 – время набора высоты до момента пересечения ($t\_{перес 2}$), мин, с;

Т9, К5, К7 – момент пересечения (*Т*), ч, мин, с;

S2, S4 – удаление ВС от аэродрома вылета (*S1, S2*), км;

D – расстояние между ВС в момент пересечения (*d*расх), км;

Y5, Y9 – время полета 1-го самолета «до догона» его 2-м($t\_{дог 1}$), мин,с;

Yl, Y3 – время полета 2-го самолета до момента догона 1-го самолета ($t\_{дог 2}$), мин, с;

А1, A3, А5 – момент догона (Тдог). ч, мин, с;

H1, Н2 – высота полета ВС в момент догона, м;

H$∅$ – интервал расхождения по высоте (*H1, H2*), м;

S – удаление ВС от аэродрома в момент расхождения (*Sрасх*), км.

**Контрольные примеры**

1. В момент $T\_{1}$ = 10 ч 00 мин от аэродрома вылета отошел с набором высоты заданного эшелона первый самолет, имеющий $W\_{1}$=430 км/ч и $V\_{в1}$=4 м/с. Второй самолет отошел от аэродрома в момент $T\_{2}$=10 ч 10 мин с $W\_{2}$ = 780 км/ч и $V\_{в2}=$10 м/с. Определить параметры движения ВС до момента расхождения.

Ответ. После прохождения программы на экране дисплея читаем: пересечение высоты 1-го самолета произойдет до его обгона. Анализ полета: *Т* полета 1-го самолета до момента пересечения его высоты 2-м самолетом $t\_{перес 1}$= 16 мин 40 с, время полета 2-го самолета до момента пересечения высоты 1-го самолета $t\_{перес 2}$= 6 мин 40 с. Момент пересечения высоты 1-го самолета *Т* =10 ч 16 мин 39 с. Удаление ВС от аэродрома вылета в точке пересечения: $S\_{1}$ = 119 км, $S\_{2}$ = 86 км. Дистанция между самолетами в момент пересечения высоты 1-го самолета *d*расх = 33 км. Время полета 1-го самолета «до догона» его 2-м $t\_{дог 1}$ = 22 мин 17 с, время полета 2-го самолета «до догона» им 1-го ВС $t\_{дог 2}$=12 мин 17 с. Высота полета 1-го самолета в момент догона *H1* = 5348,6 м, высота полета 2-го самолета в момент догона *H2* = 7371,4 м. Интервал эшелонирования по высоте в точке расхождения $∆$*H*расх = 2022,8 м. Удаление ВС от аэродрома вылета в точке расхождения 159,7 км.

2. Время отхода от аэродрома вылета 1-го самолета *T*отх =11 ч 55 мин. Скорость полета 1-го самолета $W\_{1}$ =580 км/ч. Вертикальная скорость набора высоты 1-м самолетом $V\_{в1}$= 10 м/с; скорость 2-го самолета, выполняющего полет на встречном эшелоне, $W\_{2}$ = 620 км/ч. Эшелон полета 2-го самолета *Hэш* = 6000 м. Удаление 2-го самолета от аэродрома *S* = 200 км.

Ответ. После прохождения программы на экране дисплея читаем: Внимание!!! Создались условия опасного сближения. Дайте команду: уменьшить вертикальную скорость набора высоты 1-го ВС.

**Контрольные вопросы к лабораторной работе № 3**

1. Назовите 3 случая возникновения конфликтных ситуаций в полете ВС.
2. Каковы возможные варианты расхождения ВС в каждом из этих случаев?
3. От соотношений каких параметров зависит выбор варианта расхождения ВС в каждой из возможных ситуаций?
4. Какие решения могут быть приняты диспетчером на основе анализа результатов расчета?