

Практическое занятие №1

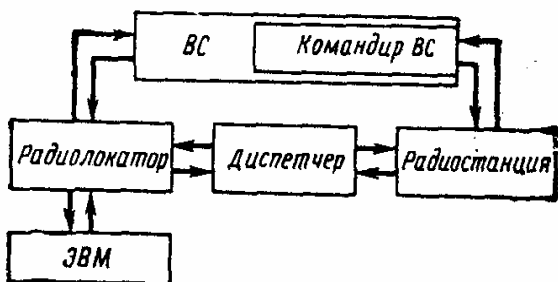
Расчёт временных затрат диспетчера УВД

1. Теоретическая часть.

Сигналы о фактическом положении ВС поступают на пост диспетчера через радиостанции и РЛС в виде сигнала, описываемого функцией $F_1(t)$. Диспетчер принимает эту информацию, расшифровывает её и сравнивает с $F_0(t)$ -заданным планом полёта и принимает соответствующее решение. При этом величина $\Delta F_0 = F_0(t) - F_1(t)$ поступает на борт ВС в виде команды или информации.

На основе оценки воздушной обстановки по сигналам от других ВС с учётом обнаруженного отклонения ΔF_0 вырабатывается регулирующее воздействие Φ , которое передаётся на объект регулирования (ВС). При необходимости информация о новых параметрах движения данного объекта передаётся на взаимодействующие диспетчерские пункты и в заинтересованные органы системы УВД. Этим заканчивается очередной и начинается каждый последующий цикл регулирования в одиночном замкнутом контуре. Новое положение ВС и параметры его движения являющиеся следствием действий экипажа на сигнал Φ , поступивший от системы УВД, приводят к изменению показаний приборов на рабочем месте диспетчера, информируя его о правильности выполнения экипажем указаний службы УВД.

При добавлении числа контуров работа диспетчера становится всё более напряжённой, а при достижении определённого числа ВС – невозможной. Следовательно, пропускная способность воздушного пространства в значительной степени зависит от загруженности диспетчера.



Показатель Временной загруженности диспетчера:

$$k_3 = \frac{T_{зан}}{T_{раб}}, \quad (1)$$

где

$T_{зан}$ - время занятости диспетчера,

$T_{раб}$ - общее время работы.

$$T_{зан} = t_{св.ВС} + t_{св.Д} + t_{вз.} + t_{о.у} + t_{пр.}, \quad (2)$$

где

$t_{св.ВС}$ - время связи с экипажами ВС,

$t_{св.Д}$ - время согласования действий с диспетчерами смежных секторов,

$t_{вз.}$ - время взаимодействия с ЭВМ в автоматизированных системах или выполнения ручных операций по фиксированию информации в неавтоматизированных системах,

$t_{о.у.}$ - время обращения к органам управления,

$t_{пр.}$ - время, затрачиваемое на принятие решений.

$$k_3 = \sum_{i=1}^m k_{3_i}, \quad (3)$$

где

k_{3_i} - коэффициент занятости при выполнении отдельных операций.

Если $k_3 < 0,1$, то диспетчер теряет бдительность.

Если $k_3 > 0,7$, то повышается вероятность принятия ошибочного решения.

Если $0,1 < k_3 < 0,7$, то вероятность принятия ошибочных решений минимальна.

2. Практическая часть

Пример 1. $T_{раб} = 2ч$,

$$\begin{aligned}
t_{св.ВС} &= 15 \text{ мин.}, \\
t_{св.Д} &= 3 \text{ мин.}, \\
t_{вз.} &= 35 \text{ мин.}, \\
t_{о.у} &= 0, \\
t_{пр.} &= 2 \text{ мин.}
\end{aligned}$$

Найти коэффициент временной загрузки диспетчера и сделать вывод о её приемлемости.

Пример 2. $T_{раб} = 3ч$,

$$\begin{aligned}
t_{св.ВС} &= 5 \text{ мин.}, \\
t_{св.Д} &= 0 \text{ мин.}, \\
t_{вз.} &= 10 \text{ мин.}, \\
t_{пр.} &= 2 \text{ мин.}, \\
k_3 &= 0,09.
\end{aligned}$$

Найти минимальное время, необходимое на обращение в органы управления, чтобы диспетчер не потерял бдительность.

Пример 3.

$$\begin{aligned}
t_{св.ВС} &= 22 \text{ мин.}, \\
t_{св.Д} &= 15 \text{ мин.}, \\
t_{вз.} &= 30 \text{ мин.}, \\
t_{о.у} &= 3 \text{ мин.}, \\
t_{пр.} &= 5 \text{ мин.}
\end{aligned}$$

Найти максимальное время работы диспетчера, чтобы вероятность принятия ошибочного решения не повышалась.

Время выполнения той или иной операции зависит от квалификации диспетчера, метеоусловий, интенсивности движения, скорости полёта ВС, структуры сектора управления и других факторов:

$$k_3 = k_{3,\phi} + k_{3,u} + k_{3,k}, \quad (4)$$

где

i принимает значения ϕ , u или k ,

$$k_{3_i} = \frac{v_i n t}{T}, \quad (5)$$

где

v_i - коэффициент, учитывающий дополнительные затраты времени на фиксацию и обработку информации,

n - число сеансов связи,

t - средняя длительность одного сеанса связи,

T - общий интервал времени, за который оценивается загрузка.

Следует отметить, что временная загруженность диспетчера растёт с увеличением каналов связи, среднего времени на один канал связи и увеличением дополнительных затрат и уменьшается с увеличением общего времени работы.

Значения v_i находятся в следующих пределах: $1 < v_i < 1,5$.

Пример 4.

$$T = 2ч,$$

$$v_{\phi} = 1,1$$

$$v_u = 1,1$$

$$v_k = 1,08,$$

$$n = 10$$

$$t = 2 \text{ мин.}$$

Найти коэффициент временной загруженности диспетчера.

Пример 5.

$$v_{\phi} = 1,12$$

$$v_u = 1,03$$

$$v_k = 1,05,$$

$$n = 10$$

$$t = 3 \text{ мин.}$$

Сколько времени минимально должен работать диспетчер при таком плане работы, чтобы вероятность принятия ошибочного решения не стала возрастать?

Пример 6.

$T = 2ч,$
 $v_{\phi} = 1,01$
 $v_u = 1,03$
 $v_k = 1,02,$
 $t = 0,2мин.$

Какое число сеансов связи должен сделать диспетчер за это время, чтобы не потерять бдительность?

Пример 7.

$T = 1,5ч,$
 $v_{\phi} = 1,2$
 $v_u = 1,07$
 $v_k = 1,1,$
 $n = 6.$

Какова должна быть средняя длительность одного сеанса связи, чтобы коэффициент загрузки был равен 0,55.

Требуется связать коэффициент временной загрузки диспетчера с интенсивностью воздушного движения:

$$k_3 = k_{3,0} + \frac{t_1 N}{T} + \frac{t_k \gamma N^2}{2T}, \quad (6)$$

где

$k_{3,0}$ - общая загрузка, не зависящая от числа ВС,

t_1 - суммарные временные затраты на обслуживание одного ВС,

N - число ВС, находящихся под управлением одного диспетчера,

t_k - среднее время, затрачиваемое диспетчером на обнаружение и разрешение конфликтной ситуации по каждой паре ВС;

γ - коэффициент, учитывающий сложность структуры зоны УВД (в зависимости от зоны УВД $1 < \gamma < 2$, $\max \gamma = 2$ (Москва, Ростов)).

Пример 8.

$$\begin{aligned}T &= 3ч, \\k_{3,0} &= 0,2, \\t_1 &= 5мин., \\N &= 4, \\t_k &= 0,2мин., \\ \gamma &= 1,5.\end{aligned}$$

Найти коэффициент временной загрузки диспетчера.

Пример 9.

$$\begin{aligned}T &= 3ч, \\k_{3,0} &= 0,02, \\t_1 &= 1мин., \\t_k &= 0,1мин., \\ \gamma &= 1,5.\end{aligned}$$

Найти число ВС, которые должны находиться под управлением одного диспетчера, чтобы он не потерял бдительность?

Пример 10.

$$\begin{aligned}T &= 3ч, \\k_{3,0} &= 0,4, \\t_1 &= 3мин., \\N &= 10, \\t_k &= 1мин.\end{aligned}$$

Для какой зоны УВД при таком плане работы вероятность принятия ошибочного решения начнёт повышаться?

Далее предлагается решить ~~Приведём~~ пример на вычисление коэффициента временной загрузки диспетчера, учитывающего, что общая загрузка, не зависящая от числа ВС, не известна заранее.

Пример 11.

$T = 4ч,$
 $t_1 = 2мин.,$
 $N = 8,$
 $t_k = 0,5мин.,$
 $\gamma = 1,5,$
 $n = 5,$
 $t = 1мин.,$
 $\nu_1 = 1,1,$
 $\nu_2 = 1,2,$
 $\nu_3 = 1,1.$

Практическое занятие №2

Построение алгоритмов работы диспетчера планирования

Технология работы диспетчера планирования зависит от специфики зоны и строго регламентирована соответствующей документацией.

Для любой зоны можно выделить совокупность функциональных задач и последовательность их выполнения позволит составить обобщённую технологию работы диспетчеров планирования.

Технология долгосрочного и суточного планирования почти одинакова, но отличается в основном сроками действия и оперативностью поступающей информации.

Функциональные задачи при долгосрочном и суточном планировании можно охарактеризовать следующим образом:

P_0 - начало работы алгоритма;

Φ_{n1_1} - типы сообщений, расписание от авиакомпаний, планы повторяющихся полётов, заявки на полёты, планируемые заблаговременно для долгосрочного планирования и за сутки для суточного;

Φ_{n1_2} - типы сообщений: структура воздушного пространства, нормативы загрузки воздушных трасс, точек их пересечения, секторов управления, данные об ограничениях на полёты, сведения о техническом состоянии радиотехнических

средств навигации и УВД, дополнительные ограничения в приёме выпуска ВС на аэродромах, лётно-технические характеристики ВС, технология выполнения ими полётов, данные по аэродромам, причём для суточного планирования сообщения содержат сведения по состоянию на ближайшие сутки;

P_1 - принятие решения о составлении плана по истечении установленного срока или же по указанию вышестоящих инстанций (план составлять – 1, нет-0);

A_1 - составление плана в максимальной степени отвечающего требованиям регулярности и экономичности полётов совокупности ВС;

P_2 - проверка соответствия планируемой загрузки воздушного пространства пропускной способности (перегрузка -1, нет-0);

A_2 - проведение процесса организации потоков: сравнение сведений о потребности в движении с пропускной способностью элементов воздушного пространства, выявление элементов системы УВД и временных интервалов, когда потребности превосходят пропускную способность, выработка поправок к плану;

P_3 - план согласован – 1, нет – 0;

P_4 - принятие решения о перепланировании движения в случаях массовых нарушений плана по метеоусловиям либо при поступлении большого числа внеплановых заявок на полёты (перепланировать – 1, нет – 0);

A_3 - корректировка предварительного плана;

0 - окончание работы;

Φ_2 - координация, согласование;

Φ_3 - составление, отображение, сохранение и рассылка сообщений;

Φ_4 - контроль правильности обмена сообщениями и своевременности выполнения функциональных задач отдельных процессов.

Операторная схема обобщённой технологии работы диспетчера долгосрочного (суточного) планирования имеет вид:

$P_0 \downarrow^1 \Phi_n 1_1 \Phi_n 1_2 P_1 \uparrow^1 A_1 \downarrow^4 P_2 \uparrow^6 \downarrow^5 A_2 w \uparrow^4 \downarrow^6 \Phi_n 2 P_3 \uparrow^5 \Phi_n 3 \Phi_n 4 P_4 \uparrow^{11} A_3 w \uparrow^5 \downarrow^{11} 0.$

Индекс n означает предварительное планирование, \uparrow^r означает, что, если логическое условие невыполнено, то необходимо найти стрелку \downarrow^r и продолжить выполнение алгоритма, начиная справа от этой стрелки, w означает безусловный переход к выполнению оператора, указанному стрелкой справа от w .

Пример 1. Построить блок-схему алгоритма работы диспетчера долгосрочного (суточного) планирования.

При текущем планировании решение функциональных задач проводят в таком порядке:

$$P_0 \downarrow^1 \Phi_T 1_1 \Phi_T 1_2 \Phi_T 1_3 q_1 \uparrow^1 q_2 \uparrow^2 B_1 \downarrow^3 B_2 B_3 \Phi_T 2 q_3 \uparrow^3 w \uparrow^5 \downarrow^2 B_4 \downarrow^5 \Phi_T 3 \Phi_T 4 0 ,$$

где

T - индекс текущего планирования,

$\Phi_T 1_1$ - приём суточного плана и сообщений о его выполнении, приём планов полётов, не поданных при предварительном планировании;

$\Phi_T 1_2$ - приём данных по координации условий приёма ВС на управление, метеоданных, сведений об изменении пропускной способности элементов воздушного пространства;

$\Phi_T 1_3$ - приём данных о состоянии наземных аэронавигационных средств, аэродромов, а также кратковременных ограничений на полёты;

q_1 - решение о целесообразности составления текущего плана (план составлять – 1, нет – 0);

q_2 - решение о возможности составить план (возможно – 1, нет – 0);

B_1 - поиск планов полётов ВС в суточном плане для их передачи на УВД;

B_2 - проведение тактической организации потоков;

B_3 - коррекция текущих планов полётов;

q_3 - (планы согласованы -1, нет – 0);

B_4 - передача ВС на радиолокационное управление.

Пример 2. Построить блок-схему алгоритма работы диспетчера текущего планирования.

Практическое занятие №3

Построение алгоритмов работы диспетчера управления

Суточное планирование создаёт условия для нормального функционирования системы УВД. Реализуется суточный план при непосредственном управлении.

Обобщённая технология работы диспетчера соответствует алгоритмическому выражению:

$$P_0 \downarrow^3 \Phi_{y,1} \Phi_{y,2} \downarrow^2 TP C_1 C_2 C_3 r_1 \uparrow^1 r_2 \uparrow^2 \downarrow^5 C_4 C_5 r_4 \downarrow^5 C_6 C_7 r_5 \uparrow^1 w \uparrow^5 \downarrow^1 r_3 C_8 0 ,$$

где

TP - процесс текущего планирования,

$\Phi_{y,1}$ - информация о воздушной обстановке по донесениям экипажей, сообщения от смежных служб;

$\Phi_{y,2}$ - метеоинформация и кратковременные ограничения на полёты;

C_1 - установление местоположения ВС по донесениям экипажа;

C_2 - сравнение данных плана полёта с данными о местоположении ВС;

C_3 - оценка отклонения ВС от плановой траектории;

r_1 - отклонение ВС от плановой траектории (есть -1, нет - 0);

r_2 - корректировка траектории движения (допустима -1, нет - 0);

r_3 - проверка условия достижения границы зоны ответственности (граница есть - 1, нет - 0);

C_4 - корректировка движения ВС, выработка команды пилоту;

C_5 - оценка соблюдения норм эшелонирования;

r_4 - нормы эшелонирования (соблюдаются - 1, нет - 0);

C_6 - прогнозирование движения ВС;

C_7 - определение тенденции ВС к нарушению текущего плана;

r_5 - имеет место тенденция к нарушению сроков выполнения текущего плана (да -1, нет - 0);

C_8 - передача управления соседнему диспетчеру.

Пример 1. Построить блок-схему алгоритма обобщённой технологии работы диспетчера управления.

При радиолокационном УВД обобщённый алгоритм работы диспетчера имеет вид:

$$P_0 \downarrow^3 \Phi_{y13} \Phi_{y12} \downarrow^2 TP D_1 D_2 D_3 D_4 D_5 r_1 \uparrow^1 r_2 \uparrow^2 \downarrow^5 C_4 C_5 r_4 \uparrow^5 D_6 C_7 r_5 \uparrow^1 w \uparrow^5 \downarrow^1 r_3 \uparrow^3 C_8 0 ,$$

где

Φ_{y13} - стандартная функциональная задача относительно информации о воздушной обстановке;

D_1 - идентификация радиолокационных отметок;

D_2 - объединение информации о траектории движения целей, получаемой от разных источников;

D_3 - отождествление радиолокационной и плановой информации;

D_4 - слежение за движением ВС;

D_5 - оценка отклонения действительной траектории ВС от плановой;

D_6 - экстраполяция траектории ВС.

Пример 2. Построить блок-схему алгоритма работы диспетчера при радиолокационном УВД.

Практическое занятие №4

Определение минимальных и максимальных интервалов времени для фиксации положения ВС

1. Корреляционная функция модели боковых отклонений:

$$\rho_z(\tau) = e^{-\alpha\tau} \left(\cos \omega_0 \tau + \frac{\alpha}{\omega_0} \sin \omega_0 \tau \right), \quad \alpha = 1,83 \cdot 10^{-3} \frac{1}{c}, \quad \omega_0 = 4,17 \cdot 10^{-3} \frac{1}{c}.$$

Следует отметить, что α и w_0 определены ИСАО, но могут варьироваться начальником для каждой конкретной зоны УВД.

Максимальный допустимый интервал времени между отсчётами должен лежать в области высокой корреляции, т.е. $\rho_z(\tau) \geq 0,5 - 0,7$. Минимальный интервал времени принимается произвольно относительно конкретных условий.

Задача 1.

$$\alpha = 1,83 \cdot 10^{-3} \frac{1}{c}, \quad \omega_0 = 4,17 \cdot 10^{-3} \frac{1}{c},$$

$$\rho_z(\tau_2) = 0,7,$$

$$\rho_z(\tau_1) = 0,999.$$

(τ_2 - максимальный интервал времени для фиксации положения ВС, τ_1 - минимальный интервал времени для фиксации положения ВС).

Найти τ_1 и τ_2 .

2. Корреляционная функция случайного процесса колебаний истинной скорости:

$$k_v(\tau) = \exp(-\alpha|\tau|) \left(\cos w_0\tau + \frac{\alpha}{w_0} \sin w_0\tau \right), \dots \alpha = 1,67 \cdot 10^{-3} \text{ 1/c}, \dots w_0 = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ 1/c}.$$

Задача 2.

$$\alpha = 1,67 \cdot 10^{-3} \frac{1}{c}, \quad \omega_0 = 3,5 \cdot 10^{-3} \frac{1}{c},$$

$$k_v(\tau_2) = 0,5,$$

$$k_v(\tau_1) = 0,9999.$$

(τ_2 - максимальный интервал времени для фиксации положения ВС, τ_1 - минимальный интервал времени для фиксации положения ВС).

Найти τ_1 и τ_2 .

Практическое занятие №5

Определение максимально возможных отклонений ВС от истинной траектории

Рассмотрим задачу. Пусть даны 3 координаты движения воздушного судна (для простоты будем рассматривать движение без смены эшелона):

$$x_1 = 1, x_2 = 1,5, x_3 = 1,8,$$

$$y_1 = 2, y_2 = 2, y_3 = 2,5.$$

Найдём уравнение маршрута движения. Используется линеаризованная модель с использованием метода наименьших квадратов:

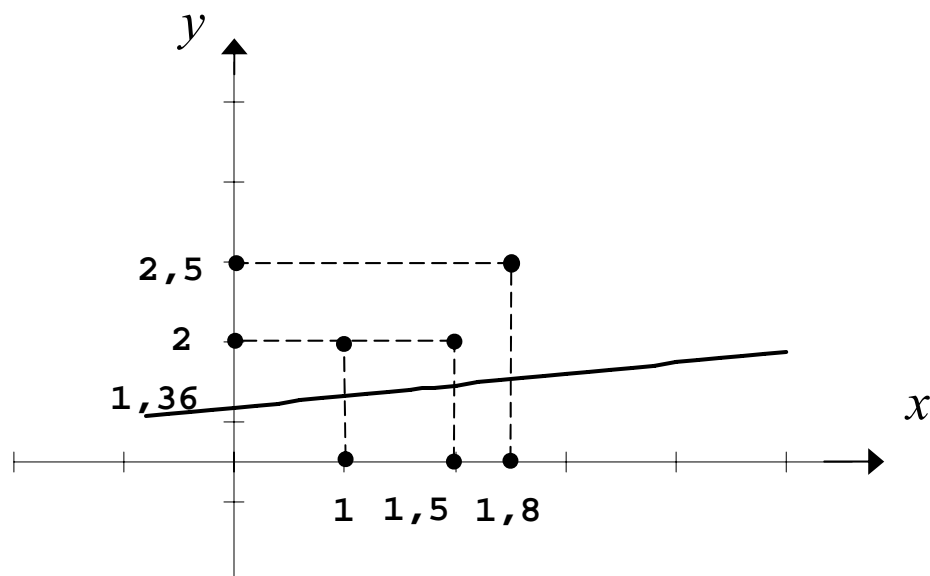
$$Y = kx + b,$$

$$k = \frac{n \sum_{i=1}^3 xy - \sum_{i=1}^3 x \cdot \sum_{i=1}^3 y}{n \sum_{i=1}^3 x^2 - \left(\sum_{i=1}^3 x \right)^2} = \frac{3 \cdot (1 \cdot 2 + 1,5 \cdot 2 + 1,8 \cdot 2,5) - 4,3 \cdot 6,5}{3 \cdot (1 + 2,25 + 3,24) - 4,3^2} \approx 0,56,$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^3 x^2 \cdot \sum_{i=1}^3 y - \sum_{i=1}^3 x \cdot \sum_{i=1}^3 xy}{n \sum_{i=1}^3 x^2 - \left(\sum_{i=1}^3 x \right)^2} = \frac{6,49 \cdot 6,5 - 4,3 \cdot 9,5}{0,98} \approx 1,36.$$

$$Y = 0,56x + 1,36.$$

Далее строим вручную график этой прямой и исходные координаты движения ВС:



Переходим к решению задачи на нахождение расстояния от точки до прямой:

1) Свойство угловых коэффициентов перпендикулярных прямых:

$$k_1 k_2 = -1, \text{ то } k_2 = -\frac{1}{0,56} \approx -1,79.$$

Следовательно, уравнение прямой, проходящей через точку (1;2) перпендикулярно прямой Y , будет иметь вид:

$$y_1 = -1,79x + b_1.$$

b_1 находится из решения уравнения:

$$-1,79 \cdot 1 + b_1 = 2, \text{ следовательно } b_1 = 3,79.$$

Найдём точку пересечения прямых Y и y_1 :

$$-1,79x + 3,79 = 0,56x + 1,36,$$

$$2,35x = 2,43,$$

$$x = 1,03,$$

$$y = 1,94.$$

Расстояние между точками (1;2) и (1,03;1,94) будет вычисляться по формуле расстояния между двумя точками:

$$r = \sqrt{(1,03 - 1)^2 + (1,94 - 2)^2} \approx 0,067 \text{ усл.ед.}$$

2) Для прямой, проходящей через точку (1,5; 2) перпендикулярно прямой Y будем иметь:

$$-1,79x + b_2 = 2$$

$$x = 1,5,$$

$$b_2 = 4,69.$$

Для нахождения коэффициента b_2 составим уравнение:

$$-1,79x + 4,69 = 0,56x + 1,36,$$

$$2,35x = 3,33,$$

$$x \approx 1,42,$$

$$y \approx 2,16.$$

Тогда расстояние между точками (1,5; 2) и (1,42; 2,16) вычисляется по формуле:

$$r = \sqrt{(1,5 - 1,42)^2 + (2,16 - 2)^2} \approx 0,179 \text{ усл.ед.}$$

3) Аналогично для третьей точки, применяя те же самые операции, получим:

$$r \approx 0,127 \text{ усл.ед.}$$

Максимально возможное отклонение:

$$R = \max(0,067; 0,179; 0,127) = 0,179.$$

Теперь Вам предлагается самостоятельно решить ту же самую задачу для следующей тройки координат:

$$x_1 = 2, \quad x_2 = 1,5, \quad x_3 = 3,$$

$$y_1 = 2,5, \quad y_2 = 1,5, \quad y_3 = 2.$$