

## ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Автоматизированные системы управления воздушным движением» (АСУВД) является специальной дисциплиной для специальности 160905 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования».

Дисциплина (АСУВД) содержит лекционный материал в объёме 54 академических часов и практических занятий в объёме 16 академических часов. Поэтому предполагается проведение 8-ми практических занятий.

Содержание тем практических занятий в основном соответствует содержанию учебного пособия МГТУ ГА «АСУВД», авторы Логвин А.И., Яковлева Д.А., изданного в 2009 г. Кроме того, при составлении заданий по выполнению практических занятий использовались учебники и учебные пособия, список которых приведён в конце данной работы.

Общее количество тем практических занятий составляет 4, из которых получается 8 практических занятий.

Пример нумерации практических занятий: 2ПЗ-2.2, что означает тему занятий № 2 и практическое занятие в рамках этой темы тоже № 2.

Нумерация формул ведётся в пределах каждой темы практических занятий для удобства их использования при выполнении расчётов, а нумерация рисунков сквозная по всему тексту пособия.

### **Тема №1. Расчёт времени загрузки диспетчера УВД**

#### **ПЗ-1.1. Расчёт интегрального коэффициента загрузки диспетчера УВД**

Система УВД представляет собой сложную эргатическую систему, в которой на диспетчера УВД возлагается основная задача по функционированию системы – принятие решений и осуществление управляющих воздействий. Поскольку в системе УВД диспетчер является центральным звеном, то от него во многом зависит безопасность полётов (БП) и пропускная способность (ПС) сектора (района) управления, которые, в свою очередь, зависят от уровня загрузки диспетчера.

Показатель временной загрузки диспетчера определяется отношением времени его занятости  $T_{зан.}$  к общему времени работы  $T_{раб.}$ , т.е.

$$K_3 = T_{зан.} / T_{раб.} \quad (1)$$

Значение  $K_3$  определяет сложность УВД, т.к., чем больше  $K_3$ , тем напряжённее работа диспетчера по управлению движением воздушных судов (ВС).

Этот показатель – своеобразная мера интенсивности воздушного движения (ИВД), совершенства и сложности организации воздушного движения (ОрВД), а также качества, состава и формы представления диспетчеру информации о воздушной обстановке (ВО) в зоне управления, т.е. мера полноты и совершенства информационной модели ВО. При оценке времени занятости диспетчера учитывается не только длительность и число связей с экипажами

ВС, но также число и длительность связей по согласованию и время моторных операций при УВД.

Суммарное время занятости диспетчера в основном складывается из следующих временных затрат:

$$T_{\text{зан}} = t_{\text{св}}\text{ВС} + t_{\text{свд}} + t_{\text{вз}} + t_{\text{оу}} + t_{\text{пр}}, \quad (2)$$

где  $t_{\text{св}}\text{ВС}$  – суммарное время связи с экипажами ВС;

$t_{\text{свд}}$  – суммарное время связи по согласованию действий с диспетчерами смежных секторов;

$t_{\text{вз}}$  – время взаимодействия с ЭВМ в АСУВД или время выполнения ручных операций по фиксации информации в неавтоматических системах;

$t_{\text{оу}}$  – время обращения к органам управления;

$t_{\text{пр}}$  – время, затрачиваемое на принятие решений.

По своему физическому смыслу значение показателя загруженности  $K_3$  находится в диапазоне

$$0 \leq K_3 \leq 1.$$

Из формул (1) и (2) следует, что общий коэффициент загруженности может быть разделён на сумму коэффициентов загруженности при выполнении отдельных операций

$$K_3 = \sum_{i=1}^m K_{3i}, \quad m=1,5, \quad (3)$$

где  $K_{3i} = \frac{t_i}{T_{\text{раб}}}$ ;  $i = \text{свВС}, \text{свд}, \text{вз}, \text{оу}, \text{пр}$ .

На основании многочисленных экспериментов было установлено, что значение  $K_3$ , при котором вероятность принятия ошибочных решений минимальна, составляет диапазон

$$0,1 \leq K_3 \leq 0,7.$$

При  $K_3 < 0,1$  диспетчер теряет бдительность, т.е. в определённой мере расслабляется, а при  $K_3 > 0,7$  он ощущает острый дефицит времени на выполнение операций. Условие  $K_3 > 0,7$  не означает, что диспетчер становится неспособным. При этом условии появляется вероятность принятия ошибочного решения, быстрее наступает физическая усталость диспетчера. Показатель  $K_3$  обычно относят к 1-му часу, однако этот интервал времени велик, так как существующие у нас в РФ сектора ответственности диспетчера УВД ВС преодолевают за 20-30 мин. Поэтому на практике пользуются дифференцированным показателем загруженности диспетчера при наличии под его управлением фиксированного числа ВС, т.е. дифференциального  $K_3(N)$ , где  $N$  - общее число

ВС, одновременно находящихся под управлением диспетчера УВД. Соответственно ранее рассмотренный коэффициент  $K_3$  будем называть интегральным.

С увеличением  $K_3$  резко возрастает количество ошибочных действий, совершаемых диспетчерами. Анализ опасных сближений (т.е. возникновение конфликтных ситуаций (КС) и потенциально конфликтных ситуаций (ПКС)), происходящих за последние 15 лет по вине диспетчеров, показал, что вероятность ошибочных действий существенно зависит от величины  $K_3$ . Было проанализировано более 300 опасных сближений в различных пунктах (органах) УВД (районный центр (РЦ), диспетчерский пункт подхода (ДПП), круг, диспетчерский пункт круга (ДПК)). Анализ полученных результатов позволил определить, что при  $K_3 \leq 0,55$  вероятность ошибочных действий минимальна и равна

$$P_{\text{ош}} = 1 \div 3 \cdot 10^{-6}.$$

При увеличении  $K_3$  количество ошибочных действий резко возрастает, причём наиболее значительно это увеличение происходит в зоне ответственности ДПК (при  $K=0,7$ )

$$P_{\text{ош}} = 1 \div 3 \cdot 10^{-4}.$$

Поэтому в качестве нормативной величины для коэффициента загрузки диспетчера УВД принимают величину  $K_3=0,55$ .

Вычисление затрат времени на выполнение отдельных операций – наиболее простой путь оценки  $K_3$ . Однако время выполнения той или иной операции зависит от квалификации диспетчера, метеоусловий, интенсивности движения, скорости полёта ВС, структуры сектора управления и других факторов. Отсюда детальное исследование затрат времени диспетчера на выполнение отдельных операций крайне затруднительно. Поэтому была разработана математическая модель оценки загрузки диспетчера, в соответствии с которой  $K_3$  состоит из фоновой (ф), информационной (и) и командной (к) составляющих, т.е.

$$K_3 = K_{3\text{ф}} + K_{3\text{и}} + K_{3\text{к}}, \quad K_3 = \sum_{i=1}^3 K_{3i}, \quad i = 1, 3, \quad (4)$$

$i = \text{ф, и, к.}$

Значение составляющих  $K_{3i}$  вычисляют по статистическим характеристикам сеансов связи, пользуясь однотипной формулой

$$K_{3i} = \frac{v_i \cdot n_i \cdot t_i}{T}, \quad (5)$$

где  $v_i$  – коэффициент, учитывающий дополнительные затраты времени на фиксацию и обработку информации ;

$n_i$  – число сеансов связи по каждому виду связи;  $t_i$  – средняя длительность одного сеанса связи по каждому виду связи;

$T$  – общий интервал времени, на котором оценивается загрузка диспетчера.

Перейдём к конкретным расчётам, чтобы получить порядок оцениваемых величин для расчёта интегрального коэффициента занятости  $K_3$ .

Из формулы (5) получаем 3 соотношения:

$$\begin{aligned} K_{3\phi} &= \frac{v_{\phi} \cdot n_{\phi} \cdot t_{\phi}}{T}; \\ K_{3и} &= \frac{v_{и} \cdot n_{и} \cdot t_{и}}{T}; \\ K_{3к} &= \frac{v_{к} \cdot n_{к} \cdot t_{к}}{T}. \end{aligned} \quad (6)$$

Подставляя (6) в (4), получим

$$K_3 = \frac{1}{T} (v_{\phi} \times n_{\phi} \times t_{\phi} + v_{и} \times n_{и} \times t_{и} + v_{к} \times n_{к} \times t_{к}). \quad (7)$$

Определим значение  $K_3$  для разных исходных данных. Практика УВД показывает, что коэффициенты  $v_i$  располагаются в следующей последовательности:

$$v_{\phi} \leq v_{к} \leq v_{и}, \text{ где } v_i = 1,1 \div 1,5.$$

Число сеансов связи  $n_i$  располагается в следующей последовательности:

$$n_{\phi} \leq n_{к} \leq n_{и}, \text{ где } n_i = 0 \div 30.$$

Длительность сеансов связи располагается в следующем порядке:

$$t_{\phi} \leq t_{и} \leq t_{к}, \text{ где } t_i = 0,2 \div 1 \text{ мин.}$$

Обратите внимание, что значения  $v_i$  являются эмпирическими, т.е. полученными из опыта, значения  $n_i$  также являются некоторыми усредненными значениями, как и значения  $t_i$ .

### Задание 1

Пусть  $v_{\phi} = 1,1$ ;  $v_{и} = 1,3$ ;  $v_{к} = 1,5$ ;  $n_{\phi} = 10$ ;  $n_{к} = 10$ ;  $n_{и} = 30$ ;  $t_{\phi} = 0,3$  мин.;  $t_{и} = 0,5$  мин.;  $t_{к} = 1$  мин.

По этим исходным данным произвести расчёт  $K_3$  и сделать соответствующие выводы, обратив особое внимание на влияние каждой составляющей на итоговый результат.

### Задание 2

Пусть  $v_{\phi} = 1,1$ ;  $v_{и} = 1,3$ ;  $v_{к} = 1,5$ ;  $n_{\phi} = 20$ ;  $n_{к} = 10$ ;  
 $n_{и} = 20$ ;  $t_{\phi} = 0,3$  мин.;  $t_{и} = 0,5$  мин.;  $t_{к} = 1$  мин.

Произвести расчёт  $K_3$  и сравнить полученный результат с предыдущим случаем. Сделать выводы.

### ПЗ-1.2. Расчет дифференциального коэффициента загрузки диспетчера УВД

Как указывалось выше, часто требуется связать  $K_3$  с ИВД, т.е. определить дифференциальный коэффициент загрузки диспетчера УВД. Загруженность диспетчера УВД в этом случае определяется по формуле:

$$K_3 N = K_{30} + K_{31} \times N + K_{32} \times N^2, \quad (8)$$

где  $K_{31} = \frac{t_1}{T}$ ;  $K_{32} = \frac{t_k \times \gamma}{2T}$ ;

$K_{30}$  – общая нагрузка диспетчера УВД, не зависящая от числа обслуживаемых ВС;

$t_1$  – суммарные временные затраты на обслуживание одного ВС, находящегося под управлением одного диспетчера;

$N$  – число ВС, находящихся по управлению одного диспетчера, т.е. это, по существу, плотность ВД;

$t_k$  – среднее время, затрачиваемое диспетчером на обслуживание и разрешение ПКС по каждой паре ВС;

$\gamma$  – коэффициент, учитывающий сложность структуры зоны УВД (число пересечений, число эшелонов и т.д.).

Окончательно получаем:

$$K_3 N = K_{30} + \frac{t_1}{T} \times N + \frac{t_k \times \gamma}{2T} \times N^2. \quad (9)$$

Зависимость загруженности диспетчера УВД от числа обслуживаемых ВС, т.е. от  $N$ , позволяет связать коэффициент  $K_3(N)$  с прогнозируемым ростом воздушных перевозок и тем самым решать задачу поэтапного внедрения АС УВД (речь идет о постепенном введении соответствующих модулей АС УВД).

Обратим внимание, что величина  $K_{30}$  обычно лежит в пределах  $K_{30} = 0,1 \div 0,2$ ,  $N$  – усредненная величина и может быть в пределах  $N = 4 \div 6$  ВС,  $t_1 = 2 \div 3$  мин.,  $t_k = 2 \div 3$  мин.,  $\gamma = 1 \div 2$  (в зависимости от сложности УВД, т.е. обычный аэропорт имеет  $\gamma = 1$ , аэропорт с повышенной ИВД имеет  $\gamma = 1,5$ , аэропорты типа Шереметьево, Пулково, Домодедово и т.д. имеют  $\gamma = 2$ ).

#### Задание 3

Берем некоторый типовой аэропорт с  $\gamma = 1$ . Пусть  $K_{30} = 0,15$ ,  $N = 5$  ВС,  $t_1 = 2,5$  мин.,  $t_k = 2,5$  мин. Определить значение  $K_3(N)$  и проанализировать полученный результат.

#### Задание 4

Берем тот же типовой аэропорт с  $\gamma = 1$ . Пусть  $K_{30} = 0,1$ ,  $N = 4$  ВС,  $t_1 = 2$  мин.,  $t_k = 2$  мин. Определить значение  $K_3(N)$  и сравнить с предыдущим случаем. Изменить значение  $\gamma$  с 1-го до 2-х и определить снова  $K_3(N)$ . Сравнить полученные результаты и сделать вывод.

### Задание 5

Построить зависимость  $K_3$  от  $N$  по формуле (9) для двух случаев:  $\gamma = 1$  и  $\gamma = 2$ , при изменении  $N$  от 1 до 5,  $K_{30} = 0,15$ ,  $t_1 = 2,5$  мин., при двух значениях  $t_k = 1$  мин. Сравнить полученные результаты и сделать соответствующие выводы.

## **Тема №2. Расчет показателей качества функционирования АС УВД**

### **ПЗ-2.1. Определение вероятностных характеристик процессов функционирования АС УВД**

Целью данного практического занятия является определение качества функционирования АС УВД, которое выражается через комбинацию показателей, характеризующих сохранение требуемого уровня показателей БП при увеличении интенсивности ВД и при одновременном обеспечении требуемой ПС зоны УВД. Напомним, что по определению максимальная ИВД в данной зоне УВД при выполнении требований БП определяет ПС этой зоны. При изменении числа входящих в зону УВД ВС (а именно, при их увеличении)  $\lambda_{вх}$ , меняется ИВД, при этом меняются показатели, характеризующие БП, и показатели, характеризующие степень приближения ИВД к заданной ПС (пропускная способность конкретной зоны УВД является нормативной величиной).

Изменение ИВД является случайной величиной, поэтому показатели, характеризующие изменения уровня БП при изменении ИВД и характеризующие степень приближения ИВД к ПС зоны УВД, так же будут случайными, и их можно определить вероятностными характеристиками.

Эти вероятностные характеристики должны быть связаны с условиями работы анализируемой АС УВД, поэтому в качестве таких характеристик возьмем следующие:

1. Вероятность того, что в процессе обслуживания ВД со стороны АС УВД текущий интервал времени обслуживания между двумя ВС будет меньше заданного. Этот заданный интервал определяется технологиями работы диспетчера УВД и, очевидно, что по мере увеличения ИВД, то есть по мере увеличения  $\lambda_{вх}$ , этот интервал неизбежно будет увеличиваться.

2. Вероятность того, что АС УВД (включая воздушное пространство, технические средства и диспетчерский персонал) обслужит необходимое число ВС в рамках определенной для данной зоны УВД ПС.

Обозначим первую вероятность через  $C(\lambda_{вх})$ , а вторую - через  $B(\lambda_{вх})$ , и примем условие, что оба рассматриваемых процесса являются независимыми (это не совсем верно, так как, очевидно, что эти процессы зависимы, но для упрощения рассмотрения и получения конструктивных результатов примем такую модель), тогда можем сформулировать следующую постановку задачи.

Требуется определить номинальное значение качества функционирования АС УВД, которое выражается в виде произведения.

$$H(\lambda_{вх}) = B(\lambda_{вх}) \cdot C(\lambda_{вх}), \quad (1)$$

где изменяется ИВД  $\lambda_{\text{ВХ}}$  и может изменяться значение вероятностей  $B(\lambda_{\text{ВХ}})$  и  $C(\lambda_{\text{ВХ}})$ .

Очевидно, что существует такое значение  $\lambda_{\text{ВХ opt}}$ , при котором в заданных условиях

$$H \lambda_{\text{ВХ opt}} = H_{\text{max}} \lambda_{\text{ВХ}} .$$

Конечной целью является построение зависимости функции  $H \lambda_{\text{ВХ opt}} = f(\lambda_{\text{ВХ}})$ , из которой определяется  $\lambda_{\text{ВХ opt}}$ , соответствующая  $H_{\text{max}}(\lambda_{\text{ВХ}})$ .

Для решения поставленной задачи необходимо принять соответствующие математические модели. Начнем с вероятности  $C(\lambda_{\text{ВХ}})$ . Так как вероятность любого события лежит в пределах от 0 до 1, удобно принять экспоненциальную модель, что соответствует рекомендациям ИКАО. Тогда полагаем, что при  $\lambda_{\text{ВХ}} = 0$  вероятность  $C(\lambda_{\text{ВХ}})$  должна равняться 1, т.е. всегда будет выполняться условие, что интервал обслуживания между ВС меньше заданного, и далее этот интервал будет увеличиваться по мере роста ИВД, т.е.  $\lambda_{\text{ВХ}}$ , т.е. вероятность  $C(\lambda_{\text{ВХ}})$  должна уменьшаться.

В итоге получаем следующую модель:

$$C(\lambda_{\text{ВХ}}) = e^{-K\lambda_{\text{ВХ}}}, \quad (2)$$

где  $K$  – некоторый параметр распределения.

Кривую  $C(\lambda_{\text{ВХ}})$  называют экспонентой БП при АС УВД.

Вероятность  $B(\lambda_{\text{ВХ}})$  определяет степень приближения ИВД к своему предельному значению, т.е. к ПС. Когда ИВД достигнет нормативного значения ПС, тогда эта вероятность становится равной 1, а при  $\lambda_{\text{ВХ}} = 0$  получаем  $B(\lambda_{\text{ВХ}}) = 0$ . В итоге получаем следующую модель, тоже экспоненциальную, что также соответствует рекомендациям ИКАО:

$$B(\lambda_{\text{ВХ}}) = 1 - e^{-\alpha\lambda_{\text{ВХ}}}, \quad (3)$$

где  $\alpha$  – некоторый параметр распределения.

Зависимость  $B(\lambda_{\text{ВХ}})$  называют экспонентой качества взаимодействия АС УВД с входящим в зону ответственности УВД потоком ВС.

Определим физический смысл параметра распределения  $K$  в формуле (2). Заметим, что в соответствии с имеющимися статистическими данными значения этого параметра лежат в пределах от 0,010 до 0,035, т.е.

$$0,010 \leq K \leq 0,035.$$

### Задание 1

Построить зависимости  $C(\lambda_{\text{ВХ}})$  при трех значениях  $K$ :  $K=0,010$ ;  $0,020$ ;  $0,030$  при изменении  $\lambda_{\text{ВХ}}$  от 0 до 20.

Из построенных графиков в результате анализа можно сформулировать физический смысл параметра распределения  $K$ . Так как  $C(\lambda_{\text{ВХ}})$  есть вероятность того, что текущий интервал обслуживания между ВС меньше заданного, а по мере увеличения  $K$  эта вероятность снижается, что эквивалентно увеличению интервала обслуживания ВС с увеличением  $K$ . Поэтому параметр распределения

$C(\lambda_{\text{вх}})$  называют крутизной экспоненты БП при АС УВД, т.е. нужно стремиться к тому, чтобы для данной конкретной зоны ответственности УВД при использовании конкретной АС УВД эта крутизна экспоненты была бы как можно меньше в рамках реальных возможностей.

Перейдем к определению физического смысла параметра распределения  $\alpha$  в формуле (3). Отметим, что в соответствии с имеющимися данными значения этого параметра лежат в пределах от 0,15 до 0,40, т.е.  $0,15 \leq \alpha \leq 0,40$ .

### Задание 2

Построить зависимости  $V(\lambda_{\text{вх}})$  при значениях  $\alpha$ :  $\alpha=0,15; 0,25; 0,40$  при изменении  $\lambda_{\text{вх}}$  от 0 до 20.

Из построенных графиков в результате анализа можно сформулировать физический смысл параметра распределения  $\alpha$ . Чем больше значение  $\alpha$ , тем быстрее ИВД приближается к заданному значению ПС зоны ответственности УВД. Следовательно, чтобы этот процесс приближения шел не слишком быстро, целесообразно значение  $\alpha$  уменьшать, т.е. в данном случае параметр распределения  $V(\lambda_{\text{вх}})$   $\alpha$  можно назвать крутизной экспоненты качества взаимодействия входящего в зону ответственности УВД потока ВС и самой АС УВД.

**ПЗ - 2.2. Определение максимального значения показателя качества функционирования АС УВД**

### Задание 3

Построить зависимость  $H(\lambda_{\text{вх}})$  при значениях параметров распределений  $\alpha=0,25$  и  $K=0,02$  при изменении значений  $\lambda_{\text{вх}}$  от 0 до 20.

Из полученного рисунка будет видно, что кривая  $H(\lambda_{\text{вх}})$  имеет явный экстремум, т.е. действительно существует  $H_{\text{max}}(\lambda_{\text{вхopt}})$ . Требуется найти этот экстремум в аналитической форме. Для этого необходимо в формулу (1) подставить формулы (2) и (3), продифференцировать это выражение и приравнять полученную формулу к 0. Для нахождения ответа необходимо решить полученное уравнение.

### Задание 4

Найти указанное выше уравнение и решить, т.е. получить формулу для  $\lambda_{\text{вхopt}}$ . Подставить в полученную формулу значения  $\alpha=0,25$  и  $K=0,02$ . Проанализировать полученный результат.

### Задание 5

Располагая формулой для  $\lambda_{\text{вхopt}}$ , из задания 4, подставить ее соотношение для  $H_{\text{max}}(\lambda_{\text{вхopt}})$  и получить аналитическое выражение для  $H_{\text{max}}(\lambda_{\text{вхopt}})$ . Подставить

в полученную формулу значения  $\alpha=0,25$  и  $K=0,02$ . Проанализировать полученный результат.

### Тема 3. Методика определения пропускной способности диспетчерских пунктов УВД ГА

#### ПЗ – 3.1. Общие положения определения пропускной способности диспетчерских пунктов УВД

Основной идеей методики определения пропускной способности диспетчерских пунктов УВД является оценка уровня загрузки диспетчеров, осуществляющих УВД на рабочих местах районных центров (РЦ) Единой системы (ЕС) Организации ВД (ОрВД), диспетчерских пунктов подхода (ДПП), диспетчерских пунктов круга (ДПК), стартового диспетчерского пункта (СДП), диспетчерского пункта руления (ДПР).

Критерием, на основании которого определяется уровень загрузки диспетчера, является значение показателя загрузки  $K_3$ , который подробно изучался выше в теме № 1. Допустимое значение  $K_3$  принимается равным 0,55, а предельно допустимое значение  $K_3$  принимается равным 0,70.

Далее под нормативами пропускной способности (НПС) будем понимать установленные значения ИВД, соответствующие допустимому уровню загрузки. Поэтому за НПС будет приниматься такая ИВД, при которой  $K_3=0,55$ . Предельно допустимое значение пропускной способности должно устанавливаться на уровне ИВД, соответствующей  $K_3=0,70$ . Тогда предельно допустимая пропускная способность будет составлять 1,2 НПС.

По рекомендациям ИКАО величину показателя загрузки определяют по графику  $K_3=f(\text{ИВД}/\text{НПС})$ , приведенному на рис. 1.

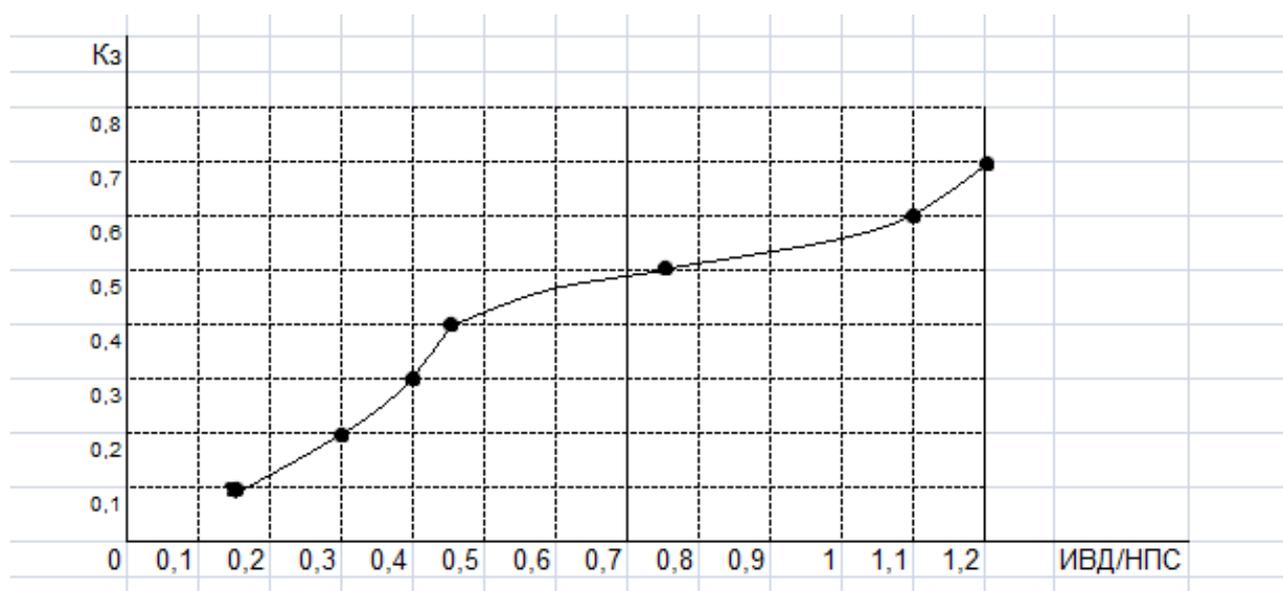


Рис.1. График зависимости  $K_3$  от отношения ИВД к нормативному значению пропускной способности

Из приведенного графика видно, что зависимость коэффициента загрузки от ИВД носит существенно нелинейный характер, причем можно выделить три характерных участка:

1 - от значений  $K_3=0,1$  до  $K_3=0,4$ ;

2 - от значений  $K_3=0,5$  до  $K_3=0,7$ ;

3 - от значений  $K_3=0,8$  до  $K_3=1$ .

Обращаем на это внимание по причине того, что при теоретическом анализе различных процессов УВД очень часто принимают зависимость  $K_3$  от ИВД линейной для удобства проведения соответствующих расчетов. Это иногда справедливо в диапазоне изменений  $K_3$  от 0,5 до 0,8, что видно из рис. 1.

Типовые нормативы пропускной способности учитывают факторы, общие для всех пунктов УВД средневзвешенное время нахождения ВС в зоне ответственности и структуру ВП. Эти типовые нормативы ПС являются основой для определения НПС конкретных пунктов УВД.

При расчете НПС конкретных пунктов УВД учитываются факторы, существенно влияющие на сложность УВД. Эти факторы приведены в табл. 1.

Таблица 1

| № | Фактор  | Уточняющие характеристики факторов                        | Изменение НПС (%)   | Коэффициент изменения НПС ( $K_i$ ) |
|---|---|---|---|-------------------------------------|
| 1 | Структура воздушного пространства                           |   | Влияние факторов учитывается в значениях типовых нормативов : см. далее табл. 3-5 |                                     |
| 2 | Средневзвешенное время нахождения ВС в зоне ответственности |   |   |                                     |
| 3 | Техническое оснащение пунктов УВД                           | Используется АС УВД "Теркас", "Спектр", "Альфа", "Синтез" | +20   | 1,20                                |
|   |   | Используется АС УВД "Стрела", "Старт"                     | +15   | 1,15                                |
|   |   | Используется КСА УВД "Альфа"                              | +15   | 1,15                                |
|   |   | Вторичная радиолокация отсутствует                        | -5  | 0,95                                |

Продолжение табл. 1

|   |  |  |                        |              |
|---|--|--|------------------------|--------------|
| 4 | Количество диспетчеров, работающих на конкретном пункте УВД              | 2 диспетчера   | +10                    | 1,10         |
| 5 | Полеты в аэроузловой зоне  | Наличие полетов, управление которыми требует дополнительного согласования с ДП смежных аэродромных средств | -10                    | 0,90         |
| 6 | Рельеф местности   | Полеты в горной местности (горные аэродромы)   | -50<br>макс            | 0,50<br>макс |
| 7 | Полеты на аэродромах совместного базирования (совместного использования) | На время проведения совместных полетов   | -25                    | 0,75         |
| 8 | Наличие госграницы   | Влияние фактора распространяется на обслуживание всех ВС   | -20                    | 0,80         |
|   |  | Влияние фактора распространяется на часть ВС   | Смотри далее по тексту |              |
| 9 | Полеты с пепременным профилем (для ДП РЦ)                                | Для неразведенных воздушных трасс: влияние фактора распространяется на обслуживание всех ВС                | -25                    | 0,75         |

|    |  |   |                        |      |
|----|--|---|------------------------|------|
|    |  | Влияние фактора распространяется на обслуживание части ВС                       | Смотри далее по тексту |      |
| 10 | Наличие прямой связи со смежными пунктами УВД  | Прямая связь со смежными пунктами УВД отсутствует                               | -10                    | 0,90 |
| 11 | Введение радиосвязи на английском языке  | Влияние фактора распространяется на обслуживание всех ВС                        | -15                    | 0,85 |
|    |  | Влияние фактора распространяется на обслуживание части ВС                       | Смотри далее по тексту |      |
| 12 | Ограничения, налагаемые полетами государственной авиации (для ДП, в зоне ответственности которых вводятся ограничения, и смежных с ними) | Закрытие эшелонов требует перераспределения более 70% общего самолетопотока     | -30                    | 0,70 |
|    |  | Закрытие эшелонов требует перераспределения от 30% до 70% общего самолетопотока | -20                    | 0,80 |
|    |  | Закрытие эшелонов требует перераспределения менее 30% общего самолетопотока     | -10                    | 0,90 |
| 13 | Плановое отключение или отказ радиотехнических средств   | На время до 30 мин включительно   | -20                    | 0,80 |
|    |  | На время более 30 мин   | -50                    | 0,50 |

Продолжение табл. 1

|    |                      |  |     |      |
|----|----------------------|--|-----|------|
| 14 | Опасные метеоявления | Метеорологические явления в районе аэродрома и на аэродроме требуют перераспределения самолетопотока | -20 | 0,80 |
|----|----------------------|--|-----|------|

В табл. 1 были приняты сокращения: КСА - комплекс средств автоматизации; ДП – диспетчерский пункт.

Приведённые в табл.1 факторы делятся на постоянно действующие и временные. К постоянно действующим относятся факторы 1-11, а к временным 12-14. Далее это будет учитываться при определении НПС.

Влияние фактора может распространяться на обслуживание всего парка ВС или на обслуживание какой-либо его части (например, факторы 8, 9, 11).

Нормативы пропускной способности для конкретных пунктов УВД устанавливаются с учётом постоянно действующих факторов, осложняющих УВД. При этом учёт временных факторов необходим для организации УВД на период действия этих параметров.

Учет влияния факторов, представленных в табл. 1 осуществляется путем увеличения или уменьшения исходного значения НПС на определенную величину, выраженную в процентах. Для расчетов НПС используются коэффициенты изменения  $K_i$  НПС и коэффициент изменения времени  $T_i$ , затрачиваемое на непосредственное УВД, о чем более подробно будет сказано ниже.

Обратим внимание, что НПС может быть использованы при долгосрочном планировании ВД с целью обеспечения регулярности полетов и исключения перегрузки диспетчеров. Кроме того НПС могут быть использованы Зональными центрами (ЗЦ) и РЦ ЕС Ор ВД при суточном планировании. При этом планирование ВД должно осуществляться с таким расчетом, чтобы суммарная часовая интенсивность полетов по центральному и местному расписаниям с учетом полетов государственной авиации, чартерных рейсов и международных полетов не превышало нормативного значения для конкретных пунктов УВД. При этом ИВД считается по количеству входов ВС в зону управления в единицу времени, обычно за 1 час.

В табл. 1 фактором 2 является средневзвешенное время нахождения ВС в зоне ответственности. Для определения типового НПС, в частности для РЦ ЕС Ор ВД и для ДПП, расчет средневзвешенного времени нахождения ВС в зоне ответственности является необходимым.

Средневзвешенное время нахождения ВС в зоне ответственности  $T_{ср.вз}$  учитывает соотношение типов ВС в самолетопотоке, направление самолетопотоков и рассчитывается по формуле:

$$T_{\text{ср.вз}} = \frac{m_1 \cdot t_{m1} + m_2 \cdot t_{m2} + \dots + m_i \cdot t_{mi}}{100} \text{ мин,} \quad (1)$$

где  $m_1, m_2, \dots, m_i$  - относительное количество полетов ВС по типам (в %);  
 $t_{m1}, t_{m2}, \dots, t_{mi}$  - среднее время нахождения ВС 1, 2, ...  $i$ -го типов в зоне ответственности (мин);  
 $i$  - количество типов ВС.

### Задание 1

Пусть имеется три типа ВС, у которых разное время пребывания в зоне ответственности УВД.

Пусть 20% ВС имеют время пребывания в зоне ответственности УВД  $t_{m1}=20$  минут, 40% имеют  $t_{m2}=15$  минут, 40% имеют  $t_{m3}=10$  минут. Определить значение  $T_{\text{ср.вз}}$ .

#### **ПЗ-3.2. Алгоритм определения значений НПС**

Алгоритм определения значений НПС состоит из следующей последовательности действий:

1. Определение типового НПС (НПС тип).
2. Определение группы факторов, влияющих на сложность УВД.
3. Определение соответствующих значений коэффициентов изменения НПС  $K_i$ .
4. Расчет окончательного значения НПС.

Определение НПС тип, т.е. выполнение первого шага алгоритма определения значений НПС рассмотрим ниже, а здесь покажем порядок определения группы факторов, влияющих на сложность УВД. Этот порядок определения основывается на анализе УВД на конкретном ДП и выполняется на основе использования табл. 1 и табл. 2.

Таблица 2

| № | Фактор  | Состав факторов, учитываемых при расчете НПС для различных ДП |         |     |
|---|---|---|---------|-----|
|   |   | Секторы<br>РЦ ЕС<br>Ор ВД                                     | ДП<br>П | ДПК |
| 1 | Структура ВП  | +   | +       |     |
| 2 | Средневзвешенное время нахождения ВС в зоне ответственности | +   | +       |     |
| 3 | Техническое описание пунктов УВД                            | +   | +       | +   |

Продолжение табл. 2

|    |  |   |   |   |
|----|--|---|---|---|
| 4  | Количество диспетчеров, работающих на конкретном пункте УВД              | + |   |   |
| 5  | Полеты в аэроузловой зоне  |   | + | + |
| 6  | Рельеф местности   |   | + | + |
| 7  | Полеты на аэродромах совместного базирования (совместного использования) |   | + | + |
| 8  | Наличие госграницы   | + |   |   |
| 9  | Полеты с переменным профилем (для ДП РЦ)                                 | + |   |   |
| 10 | Наличие прямой связи со смежными пунктами УВД                            | + | + | + |
| 11 | Ведение радиосвязи на английском языке                                   | + | + | + |
| 12 | Ограничения, налагаемые полетами государственной авиации                 | + | + | + |
| 13 | Плановое отключение или отказ радиотехнических средств                   | + | + | + |
| 14 | Опасные метеоявления   | + | + | + |

Определение значений  $K_i$  осуществляется по табл. 1. Расчет окончательного значения НПС производится по формуле:

$$\text{НПС} = \text{НПС}_{\text{тип}} \cdot \prod_{i=1}^n K_i, \quad (2)$$

где  $n$  - число учитываемых факторов.

Если  $i$ -й фактор действует не на весь поток ВС, а только на его часть, тогда коэффициент  $K_{ir}$  определяется из соотношения:

$$K_{ir} = \frac{100}{m_0 + t_i \cdot m_i}, \quad (3)$$

где  $m_0$  – относительное количество ВС, на обслуживание которых действие  $i$ -го фактора не распространяется (в %);

$m_i$  – относительное количество ВС, на обслуживание которых действие  $i$ -го фактора распространяется (в %);

$t_i$ - коэффициент изменения времени, затрачиваемого на непосредственное УВД, устанавливаемый для  $i$  – го фактора, определяемый с помощью  $K_i$ , т.е.  $t_i = K_i$ ;

$K_{ir}$ - скорректированный коэффициент изменения  $K_i$ .

## Задание 2

Пусть госграницу пересекает не весь поток ВС, а только 30%, т.е. на эти 30% действует 8-й фактор табл. 1. Определить скорректированный коэффициент изменения  $K_{8ч}$  и сравнить это значение со случаем, когда весь поток ВС пересекает государственную границу, т.е. с  $K_8$ .

Теперь для нахождения НПС нам необходимо определить в формуле (2) НПС<sub>тип</sub>. В общем случае факторами, определяющими значения НПС<sub>тип</sub>, являются:

- Структура ВП (показатели; количество точек пересечения  $N_{ТП}$  на разведенных / неразведенных воздушных трассах);
- Средневзвешенное время нахождения ВС в зоне ответственности -  $T_{ср.вз.}$ .

Эти факторы различаются для РЦ ЕС ОрВД, ДПП и ДПК и поэтому мы последовательно рассмотрим особенности определения НПС тип для перечисленных случаев. Типовые нормативы ПС секторов РЦ ЕС ОрВД, т.е. значения НПС<sub>тип</sub> приведены в табл. 3, где учтено количество точек пересечения (схождения) для разведенных и для переведенных трасс при конкретных значениях средневзвешенного времени пребывания ВС в зоне ответственности УВД.

К факторам, существенно влияющим на сложность УВД в секторах РЦ ЕС ОрВД, согласно табл. 2 относятся: 3, 4, 8 – 14 соответственно влияние этих факторов будет оцениваться с учетом значений  $K_3, K_4, K_8 - K_{14}$ , приведенных в табл. 1 и в соответствии с порядком расчета по формуле (2).

Таблица 3

| Сочетание основных факторов, определяющих значения НПС тип                         |   | Значение НПС тип (ВС/ч) | Предельно допустимое значение пропускной способности (ВС /ч) |    |
|--|---|-------------------------|--|----|
| Структура воздушного пространства  | Среднеквадратическое время нахождения ВС в секторе $T_{ср\ вз}$ (мин) |                         |  |    |
| Количество точек пересечения (схождения) на разведенных воздушных трассах $N_{ТП}$ | $N_{ТП} \leq 4$   | $T_{ср\ вз} \leq 15$    | 25   | 30 |
|  |   | $T_{ср\ вз} > 15$       | 22   | 26 |
|  | $N_{ТП} > 4$  | $T_{ср\ вз} \leq 15$    | 22   | 26 |
|  |   | $T_{ср\ вз} > 15$       | 20   | 24 |
| Количество точек пересечения (схождения) на неразведенных воздушных трассах        | $N_{ТП} \leq 4$   | $T_{ср\ вз} \leq 15$    | 21   | 25 |
|  |   | $T_{ср\ вз} > 15$       | 19   | 22 |
|  | $N_{ТП} > 4$  | $T_{ср\ вз} \leq 15$    | 18   | 21 |
|  |   | $T_{ср\ вз} > 15$       | 17   | 20 |

### Задание 3

#### **ПЗ-3.3. Определение НПС для РЦ ЕС ОрВД**

Определить  $N_{ПС_{тип}}$  районного центра ЕС ОрВД, если известно, что 10% ВС имеет время пребывания в зоне ответственности 20 мин, 40% ВС 25 мин и 50% ВС – 30 мин, число пересечений  $N_{ТП} > 4$  при разведенных трассах.

### Задание 4

Определить  $N_{ПС_{тип}}$  РЦ ЕС ОрВД, если известно, что 15% ВС имеют время пребывания в зоне ответственности 10 мин, 40% - 15 мин, 45% -20 мин, число пересечений  $N_{ТП} < 4$  при неразведенных трассах.

### Задание 5

Взять  $N_{ПС_{тип}}$  РЦ ЕС ОрВД из задания 3, выделить из табл. 2 факторы, влияющие на  $N_{ПС_{тип}}$  для сектора РЦ ЕС ОрВД и определить  $N_{ПС_{тип}}$  для сектора РЦ ЕС ОрВД при условиях:

1. Исползования КСА УВД «Альфа».
2. Работают два диспетчера УВД.
3. 40% ВС пересекают госграницу.
4. 50% выполняют полеты с переменным профилем.
5. Прямая связь со смежными пунктами имеется.
6. Ведение радиосвязи на английском языке осуществляется 20% ВС.
7. Закрытие эшелонов производится от 30% до 70% общего самолетопотока.
8. Предусмотрено плановые отключения радиосредств на время 20 мин.
9. Опасные метеоусловия отсутствуют.

### Задание 6

Взять  $N_{ПС_{тип}}$  РЦ ЕС ОрВД из задания 3, выделить из табл. 2 факторы, влияющие на  $N_{ПС_{тип}}$  для сектора РЦ ЕС ОрВД и определить НПС для сектора РЦ ЕС ОрВД при тех же условиях, что и в задании 5, но не учитывать временные факторы, влияющие на НПС, и сравнить полученный результат со случаем задания 5.

#### **ПЗ – 3.4. Определение НПС для диспетчерского пункта подхода и круга**

Методика определения НПС для ДПП в целом совпадает с методом определения НПС для РЦ ЕС ОрВД, но значения НПС тип определяются по табл. 4.

Таблица 4

| Сочетание основных факторов, определяющих значения НПС тип |   |   | Значение НПС тип (ВС/ч) | Предельно допустимое значение пропускной способности (ВС /ч) |
|--|---|---|-------------------------|--|
| Структура воздушного пространства                          | Структура самолето потока: отн. кол-во полетов по неразведенным коридорам $N_{пол}(\%)$ | Среднеквадратическое время нахождения ВС в секторе $T_{ср\ вз}$ (мин) |                         |  |
| Разведенные коридоры                                       | -   | $T_{ср\ вз} \leq 10$  | 22                      | 26   |
|  |   | $T_{ср\ вз} > 10$   | 20                      | 24   |
| Неразведенные коридоры                                     | -   | $T_{ср\ вз} \leq 10$  | 19                      | 24   |
|  |   | $T_{ср\ вз} > 10$   | 17                      | 20   |
| Смешанные коридоры   | $25 \leq N_{пол} < 50$  | $T_{ср\ вз} \leq 10$  | 20                      | 24   |
|  |   | $T_{ср\ вз} > 10$   | 19                      | 23   |
|  | $50 \leq N_{пол} \leq 80$   | $T_{ср\ вз} \leq 10$  | 19                      | 23   |
|  |   | $T_{ср\ вз} > 10$   | 18                      | 22   |

*Примечание к табл.4.*

1. Если в секторе ДПП со смешанными коридорами преобладают полеты по разведенным трассам (более 75%), то НПС равен НПС для разведенных коридоров.

2. Если в секторе ДПП со смешанными коридорами преобладают полеты по неразведенным коридорам (более 80%), то НПС равен НПС для неразведенных коридоров.

Задание 7

Определить НПС тип для трех случаев:

1. Коридоры не разведены с  $T_{ср\ вз} > 10$ ;
2. Коридоры, смешанные с  $25 \leq N_{пол} < 50$ ,  $T_{ср\ вз} > 10$ ;
3. Коридоры, разведенные с  $T_{ср\ вз} \leq 10$ .

Задание 8

Для второго случая из Задания 7 найти НПС при условии:

1. Используется КСА УВД «Альфа».
2. Требуется дополнительные согласования.
3. Горная местность.
4. Не имеется совместного базирования.
5. Есть прямая связь со смежными пунктами.
6. 20% ВС используют при радиообмене английский язык.
7. Нет ограничений на полеты.
8. Нет планового отключения радиосредств.
9. Нет опасных метеоявлений.

Методика определения НПС для ДПК в целом совпадает с методикой определения НПС для РЦ ЕС ОрВД и для ДПП, по основным факторам для определения значений НПС тип является соотношение прилетающих и вылетающих ВС. Соответствующие данные приводятся в табл. 5. Для секторов ДПК.

Таблица 5

| Основной фактор, определяющий значение НПС тип       | Значение НПСтип (ВС/ч) | Предельно допустимое значение ПС (ВС/ч) |
|--|------------------------|---|
| Относительное количество прилетающих ВС $N_{пр}$ (%) |                        |   |
| $N_{пр} < 30$  | 24                     | 28                                      |
| $30 = N_{пр} < 70$                                   | 21                     | 25                                      |
| $70 \leq N_{пр}$                                     | 18                     | 21                                      |

Примечания к таб. 5. Если пропускная способность взлетно-посадочной полосы (ВПП) ниже НПС сектора ДПК, то НПС определяется пропускной способностью ВПП и ПС аэродрома.

Обратим внимание, что при планировании необходимо стремиться к тому, чтобы количество вылетаемых и прилетаемых ВС было примерно одинаково.

Задание 9

Определить НПС ДПК, если  $N_{пр} < 30$ , а факторы, влияющие на сложность УВД, те же, что и в задании 8.

## Литература

1. Логвин А.Н., Яковлева Д.А. АС УВД. – М.: МГТУГА, 2009.
2. АС УВД / под ред. С.Г. Пятко. – СПб.: Политехника, 2004.
3. Анодина Т.Г. и др. АС УВД. – М.: Транспорт, 1992.

## Содержание

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Введение   | .....   | 3  |
| Тема №1    | Расчет временной загрузки диспетчера УВД.....                                       | 3  |
| ПЗ-1.1     | Расчет интегрального коэффициента загрузки диспетчера УВД.....                      | 3  |
| ПЗ-1.2     | Расчет дифференциального коэффициента загрузки диспетчера УВД.....                  | 7  |
| Тема №2    | Расчет показателей качества функционирования АС УВД.....                            | 8  |
| ПЗ-2.1     | Определение вероятностных характеристик процессов функционирования АС УВД.....      | 8  |
| ПЗ-2.2     | Определение максимального значения показателя качества функционирования АС УВД..... | 10 |
| Тема №3    | Методика определения пропускной способности диспетчерских пунктов УВД ГА.....       | 11 |
| ПЗ-3.1     | Общие положения определения пропускной способности диспетчерских пунктов УВД.....   | 11 |
| ПЗ-3.2     | Алгоритм определения значений НПС.....  | 16 |
| ПЗ-3.3     | Определение НПС для РЦ ЕС ОрВД.....   | 19 |
| ПЗ-3.4     | Определение НПС для диспетчерского пункта подхода и круга.....                      | 19 |
| Литература | .....   | 22 |